

TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISA OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT* PRODUK *FASTENER* DENGAN METODE TAGUCHI DAN *NEURAL NETWORK*

NANDA LAYSVANIA
NRP. 2713 100 151

Dosen Pembimbing
Mas Irfan P.Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISA OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT* PRODUK *FASTENER* DENGAN METODE TAGUCHI DAN *NEURAL NETWORK*

Nanda Laysvania
NRP. 2713 100 151

Dosen Pembimbing :
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., P.hD
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

OPTIMIZATION ANALYSIS OF HEAT TREATMENT PROCESS FOR FASTENER PRODUCT WITH TAGUCHI AND NEURAL NETWORK METHOD

Nanda Laysvania
NRP. 2713 100 151

Advisor :

Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., P.hD

Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA OPTIMASI PROSES *HEAT TRATMENT*
PRODUK *FASTENER* DENGAN METODE TAGUCHI
DAN *NEURAL NETWORK***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Perlakuan Panas
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Nanda Laysvania
NRP. 2713 100 151

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., PhD (Pembimbing I)
2. Wikan Jatimurti, ST., M.Sc (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Analisa Optimasi Proses *Heat Treatment* Produk *Fastener* dengan Metode Taguchi dan *Neural Network*

Nama Mahasiswa : Nanda Laysvania
NRP : 2713100151
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., PhD
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

Abstrak

Perkembangan industri otomotif menyebabkan permintaan pasar yang meningkat terhadap komponen-komponen pendukung, salah satunya *fastener*. Dalam pembuatan *fastener* dilibatkan proses *heat treatment* guna meningkatkan sifat fisis dan mekaniknya. Pada penelitian ini digunakan desain eksperimen dengan metode taguchi untuk mendapatkan kombinasi level faktor yang sesuai untuk proses *heat treatment*. Adapun faktor yang diteliti adalah temperatur dan waktu tahan *hardening* serta temperatur *tempering*. Pada temperatur *hardening* memiliki level berupa 800;820;820;830°C, 820;840;840;850 °C, 840;860;860;870 °C. Untuk waktu tahan *hardening* variasinya berupa 30, 45 dan 60 menit. Sementara untuk temperatur *tempering* variasinya berupa 480;480;480 °C, 530;530;530 °C, 550;550;550 °C. Respons yang digunakan pada penelitian ini merupakan nilai kekerasan dari *body fastener*. Target nilai kekerasan yang ingin didapatkan yaitu 27 HRC. Melalui pengolahan data dengan metode taguchi dan *neural network*, diperoleh level optimum dengan kombinasi temperatur *hardening* pada 820;840;840;850 °C waktu tahan 45 menit dan temperatur *tempering* 530;530;530 °C, prediksi nilai kekerasan yang didapat 26,51 HRC. Selain itu, dengan adanya level optimum ini dapat mengurangi biaya produksi sebesar 2.760.000/bulan.

Kata kunci : *fastener, heat treatment, hardening, tempering*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Optimization Analysis on Heat Treatment Process for Fastener Product with Taguchi and Neural Network Method

Name : Nanda Laysvania
SRN : 2713 100 151
Major : ***Materials and Metallurgical Engineering***
Advisor : ***Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., PhD***
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

Abstract

The development of automotive industry caused the increasing market demand towards supporting components, such as fastener. In the manufacture of fasteners heat treatment process involved in order to improve the physical and mechanical properties of the product. This research used experimental designs with the Taguchi method to get a combination of factor levels appropriate for the heat treatment process. The factors studied were hardening temperature, holding time of hardening, and tempering temperature. At temperature hardening the levels were 800;820;820;830°C, 820;840;840;850 °C, 840;860;860;870°C. At holding time of hardening the levels were 30, 45 and 60 minutes. At tempering temperature the levels were 480;480;480°C, 530;530;530°C, 550;550;550°C. Response were used in this study is hardness of the fastener. Hardness target value to be obtained at 27 HRC. Through data processing with the Taguchi and Neural Network method, optimum level is obtained by a combination of temperature hardening at 820; 840; 840; 850 °C holding time of 45 minutes and tempering temperature 530; 530; 530 °C. The predictive value of hardness is 26.51 HRC. In addition, the presence of optimum levels can reduce the production cost of 2.76 million / month.

Keywords: fastener, heat treatment, hardening, tempering

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisa Optimasi Proses *Heat Treatment* Produk *Fastener* dengan Metode Taguchi**”. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
2. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., P.hD dan Bapak Wikan Jatimurti, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Agung Prasetyo dan Bapak Dede Bangun Suprayogi selaku pembimbing dari PT. Dharma Polimetal yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Ibu Risse Noviane selaku *Head of POD Departement* PT.Dharma Polimetal yang telah memberikan banyak arahan dan saran selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.

6. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
7. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
9. Seluruh karyawan PT. Dharma Polimetal khususnya Divisi *Fastener* yang telah banyak membantu selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
10. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2013.
11. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 13 Januari 2017
Penulis,

Nanda Laysvania
2713100151

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 <i>Fastener</i>	11
2.2.1 Baut (<i>Bolt</i>).....	11
2.2.2Penggolongan Baut	13
2.3 Baja.....	14
2.4 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	17
2.5 Pengaruh Unsur Paduan pada Baja.....	20
2.6 Perlakuan Panas	22
2.7 <i>Hardening</i>	24
2.8 <i>Tempering</i>	27
2.9 Diagram Transformasi untuk Pendinginan.....	28
2.10 Desain Eksperimen	30
2.11 Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi.....	30
2.12 Rasio <i>Signal</i> Terhadap <i>Noise</i> (<i>S/N Ratio</i>)	31
2.13 <i>Neural Network</i>	32
2.13.1 Algoritma <i>Backpropagation</i>	34
2.13.2 Performa Model.....	36
2.13.3 <i>Multi Layer Network</i>	36

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir	39
3.2 Rancangan Penelitian.....	40
3.3 Metode Penelitian.....	43
3.4 Material	43
3.5 Peralatan dan Bahan	44
3.6 Tahapan Penelitian	44
3.6.1 Pengumpulan Data.....	44
3.6.2 Penentuan Faktor dan Level Faktor	45
3.6.3 Pemilihan Matriks <i>Orthogonal Array</i>	46
3.6.4 Eksperimen	50
3.6.5 Pengujian	50
3.6.6 Pengolahan Data dengan Metode Taguchi	51
3.6.7 Pengolahan Data dengan <i>Metode Neural Network</i>	51
3.6.8 Estimasi Pengurangan Biaya.....	53
3.6.9 Analisa Data dan Pembahasan	54
3.6.10 Kesimpulan	54

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 HasilPengujian	55
4.1.1 Hasil Pengujian Eksperimen 1	55
4.1.2 Hasil Pengujian Eksperimen 2	59
4.1.3 Hasil Pengujian Eksperimen 3	64
4.1.4 Hasil Pengujian Eksperimen 4	56
4.1.5 Hasil Pengujian Eksperimen 5	68
4.1.6 Hasil Pengujian Eksperimen 6	72
4.1.7 Hasil Pengujian Eksperimen 7	76
4.1.8 Hasil Pengujian Eksperimen 8	80
4.1.9 Hasil Pengujian Eksperimen 9	84
4.2 Analisis Data dengan Metode Taguchi	91
4.2.1 Perhitungan Pengaruh Level Faktor Terhadap Kekerasan Produk Fastener.....	92
4.2.2 Perhitungan <i>Signal To Noise Ratio (S/N Ratio)</i> Kekerasan Produk Fastener.....	96
4.3 Analisis Data dengan Metode <i>Neural Network</i>	101

4.3.1 Proses Pelatihan Data	101
4.3.1 Penentuan Level Optimum	105
4.4 Perbandingan <i>Setting</i> Reguler dengan <i>Setting</i> Optimum ...	106
4.5 Pembahasan	113
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	119
5.2 Saran	120
DAFTAR PUSTAKA	xxiii
LAMPIRAN.....	xxvii
BIODATA PENULIS.....	li

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baut (<i>Bolt</i>).....	12
Gambar 2.2 Bagian-bagian Pada Baut	13
Gambar 2.3 Diagram kesetimbangan Fe-Fe ₃ C	18
Gambar 2.4 Jenis Perlakuan Panas	25
Gambar 2.5 Diagram <i>Hardening</i>	27
Gambar 2.6 Diagram <i>Isothermal (IT)</i> atau <i>TTT / Time Temperature Transformation</i>	28
Gambar 2.7 Diagram <i>TTT (Time Temperatur Transformation)</i> untuk baja <i>eutectoid</i>	29
Gambar 2.8 <i>Mc.Culloch & Pitts Neuron Model</i>	33
Gambar 2.9 Model Tiruan Sebuah <i>Neuron</i>	33
Gambar 2.10 <i>Multi Layer Network</i>	37
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2 Proses <i>Training Neural Network</i>	42
Gambar 3.3 <i>Fastener SWRCH 45K</i>	43
Gambar 4.1 Profil Kekerasan Produk <i>Fastener</i> Eksperimen 1..	57
Gambar 4.2 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Eksperimen 1 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3.....	58
Gambar 4.3 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Pada Ulir Eksperimen 1 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3.....	58
Gambar 4.4 Profil Kekerasan Produk <i>Fastener</i> Eksperimen 2..	61
Gambar 4.5 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Eksperimen 2 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3.....	62
Gambar 4.6 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Pada Ulir Eksperimen 2 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3.....	63
Gambar 4.7 Profil Kekerasan Produk <i>Fastener</i> Eksperimen 3..	65
Gambar 4.8 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Eksperimen 3 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2,	

(c) sample 3.....	66
Gambar 4.9 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Pada Ulir Eksperimen 3 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3.....	67
Gambar 4.10 Profil Kekerasan Produk <i>Fastener</i> Eksperimen 4.....	69
Gambar 4.11 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Eksperimen 4 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3.....	70
Gambar 4.12 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Pada Ulir Eksperimen 4 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3.....	71
Gambar 4.13 Profil Kekerasan Produk <i>Fastener</i> Eksperimen 5.....	73
Gambar 4.14 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Eksperimen 5 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3.....	74
Gambar 4.15 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Pada Ulir Eksperimen 5 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3.....	75
Gambar 4.16 Profil Kekerasan Produk <i>Fastener</i> Eksperimen 6.....	77
Gambar 4.17 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Eksperimen 6 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3.....	78
Gambar 4.18 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Pada Ulir Eksperimen 6 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3.....	79
Gambar 4.19 Profil Kekerasan Produk <i>Fastener</i> Eksperimen 7.....	81
Gambar 4.20 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Eksperimen 7 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3.....	82

Gambar 4.21 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Pada Ulir Eksperimen 7 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3.....	83
Gambar 4.22 Profil Kekerasan Produk <i>Fastener</i> Eksperimen 8.....	85
Gambar 4.23 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Eksperimen 8 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3.....	86
Gambar 4.24 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Pada Ulir Eksperimen 8 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3.....	87
Gambar 4.25 Profil Kekerasan Produk <i>Fastener</i> Eksperimen 9.....	89
Gambar 4.26 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Eksperimen 1 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3.....	90
Gambar 4.27 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> Pada Ulir Eksperimen 9 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3.....	91
Gambar 4.28 Pengaruh Faktor Terhadap Rata-rata Kekerasan .	94
Gambar 4.29 Pengaruh Faktor Terhadap <i>S/N Ratio</i> Kekerasan Produk <i>Fastener</i>	98
Gambar 4.30 Pengaturan Arsitektur Jaringan <i>Neural Network</i>	103
Gambar 4.31 Arsitektur Jaringan <i>Neural Network</i>	104
Gambar 4.32 Mikrostruktur <i>Tempered Martensite Body Fastener</i> Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) <i>setting</i> reguler, (b) <i>setting</i> optimum.....	106
Gambar 4.33 Mikrostruktur Mikrostruktur <i>Tempered Martensite</i> ulir <i>Fastener</i> Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) <i>setting</i> reguler, (b) <i>setting</i> optimum	107

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penggolongan Baut Berdasarkan ISO	14
Tabel 2.2	Nilai Koefisien Korelasi.....	36
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian.....	41
Tabel 3.2	Komposisi Kimia Material SWRCH 45K.....	44
Tabel 3.3	Faktor Terkontrol	45
Tabel 3.4	Level dan Nilai Level Faktor	46
Tabel 3.5	Derajat Bebas Faktor	46
Tabel 3.6	Matriks <i>Orthogonal Array</i> L ₉	49
Tabel 4.1	<i>Core Hardness Area Body</i> Eksperimen 1	56
Tabel 4.2	<i>Surface Hardness Area Body</i> Eksperimen 1.....	56
Tabel 4.3	Hasil Uji Vickers <i>Microhardness</i> Eksperimen 1	56
Tabel 4.4	Hasil Pengujian <i>Tensile Test</i> Eksperimen 1	59
Tabel 4.5	<i>Core Hardness Area Body</i> Eksperimen 2	60
Tabel 4.6	<i>Surface Hardness Area Body</i> Eksperimen 2.....	60
Tabel 4.7	Hasil Uji Vickers <i>Microhardness</i> Eksperimen 2	61
Tabel 4.8	Hasil Pengujian <i>Tensile Test</i> Eksperimen 2	63
Tabel 4.9	<i>Core Hardness Area Body</i> Eksperimen 3	64
Tabel 4.10	<i>Surface Hardness Area Body</i> Eksperimen 3.....	64
Tabel 4.11	Hasil Uji Vickers <i>Microhardness</i> Eksperimen 3.....	65
Tabel 4.12	Hasil Pengujian <i>Tensile Test</i> Eksperimen 3.....	67
Tabel 4.13	<i>Core Hardness Area Body</i> Eksperimen 4.....	68
Tabel 4.14	<i>Surface Hardness Area Body</i> Eksperimen 4.....	68
Tabel 4.15	Hasil Uji Vickers <i>Microhardness</i> Eksperimen 4.....	69
Tabel 4.16	Hasil Pengujian <i>Tensile Test</i> Eksperimen 4.....	71
Tabel 4.17	<i>Core Hardness Area Body</i> Eksperimen 5.....	72
Tabel 4.18	<i>Surface Hardness Area Body</i> Eksperimen 5.....	72
Tabel 4.19	Hasil Uji Vickers <i>Microhardness</i> Eksperimen 5.....	73
Tabel 4.20	Hasil Pengujian <i>Tensile Test</i> Eksperimen 5.....	75
Tabel 4.21	<i>Core Hardness Area Body</i> Eksperimen 6.....	76
Tabel 4.22	<i>Surface Hardness Area Body</i> Eksperimen 6.....	76
Tabel 4.23	Hasil Uji Vickers <i>Microhardness</i> Eksperimen 6.....	77
Tabel 4.24	Hasil Pengujian <i>Tensile Test</i> Eksperimen 6.....	79
Tabel 4.25	<i>Core Hardness Area Body</i> Eksperimen 7.....	80

Tabel 4.26 <i>Surface Hardness Area Body</i> Eksperimen 7.....	80
Tabel 4.27 Hasil Uji Vickers <i>Microhardness</i> Eksperimen 7.....	81
Tabel 4.28 Hasil Pengujian <i>Tensile Test</i> Eksperimen 7.....	83
Tabel 4.29 <i>Core Hardness Area Body</i> Eksperimen 8.....	84
Tabel 4.30 <i>Surface Hardness Area Body</i> Eksperimen 8.....	84
Tabel 4.31 Hasil Uji Vickers <i>Microhardness</i> Eksperimen 8.....	85
Tabel 4.32 Hasil Pengujian <i>Tensile Test</i> Eksperimen 8.....	87
Tabel 4.33 <i>Core Hardness Area Body</i> Eksperimen 9.....	88
Tabel 4.34 <i>Surface Hardness Area Body</i> Eksperimen 9.....	88
Tabel 4.35 Hasil Uji Vickers <i>Microhardness</i> Eksperimen 9.....	89
Tabel 4.36 Hasil Pengujian <i>Tensile Test</i> Eksperimen 9.....	90
Tabel 4.37 Data Rata-Rata Kekerasan Produk <i>Fastener</i>	91
Tabel 4.38 Pengaruh Faktor Terhadap Rata-Rata Kekerasan Produk <i>Fastener</i>	93
Tabel 4.39 ANOVA Rata-Rata Kekerasan Produk <i>Fastener</i>	94
Tabel 4.40 Persen Kontribusi Rata-rata Kekerasan Produk <i>Fastener</i>	95
Tabel 4.41 Data <i>S/N Ratio</i> Kekerasan Produk <i>Fastener</i>	97
Tabel 4.42 Pengaruh Faktor Terhadap <i>S/N Ratio</i> Kekerasan Produk <i>Fastener</i>	98
Tabel 4.43 ANOVA <i>S/N Ratio</i> Kekerasan Produk <i>Fastener</i>	99
Tabel 4.44 Persen Kontribusi <i>S/N Ratio</i> Kekerasan Produk <i>Fastener</i>	100
Tabel 4.45 Data Hasil Normalisasi	102
Tabel 4.46 Perbandingan Data Hasil Eksperimen dan Pelatihan	105
Tabel 4.47 Matriks <i>Orthogonal Array</i> L_9	113



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri otomotif telah mengalami perkembangan yang pesat. Banyak perusahaan yang didirikan untuk memenuhi permintaan pasar terkait industri otomotif. Fokusnya pun beragam mulai dari produk berbasis logam, polimer dsb. Terkait dengan permintaan pasar, banyak unit usaha yang menjadi vendor untuk 2 roda dan 4 roda. Dalam 2 roda barang yang diproduksi dapat berupa *motorcycle frame*, *steering handle*, *wheel rim* dalam berbagai jenis seperti *sport*, *cub* dan jenis skuter. Untuk 4 roda, produk yang diproduksi berupa *pp member*, *G-Parts*, dan komponen lainnya. Perkembangan industri otomotif ini juga berimbas pada permintaan yang tinggi terhadap *fastener*, sehingga umumnya unit-unit usaha yang berfokus pada logam mengembangkan lini bisnis baru yang memasok *fastener* dengan kualitas yang dapat diandalkan dan *realible*.

Dalam pembuatan *fastener* melibatkan proses *heat treatment* yang merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk meningkatkan sifat dan kemampuan kerja dari bagian logam. Adapun proses *heat treatment* dalam pembuatan *fastener* didukung dengan sistem pengolah panas. Proses *heat treatment* dalam sistem tersebut terdiri dari beberapa rangkaian yakni *washing*, *hardening*, *quenching*, dan *tempering*. *Washing* merupakan proses pencucian material yang akan diberikan perlakuan panas agar bersih dari oli dan pengotor lainnya. *Hardening* merupakan suatu proses perlakuan panas yang dilakukan untuk menghasilkan suatu benda kerja yang keras, proses ini dilakukan pada temperatur tinggi yaitu pada temperatur austenisasi yang digunakan untuk melarutkan *sementit* dalam *austenit*, pada sistem pengolah panas material akan melewati 4 zona dengan temperatur tertentu untuk proses *hardening*. *Quenching* merupakan proses pendinginan cepat yang dilakukan pada logam yang telah dipanaskan diatas temperatur kritisnya



pada sistem pengolah panas ini media *quenching* yang digunakan berupa oli. *Tempering* merupakan lanjutan dari proses *quenching* dan bertujuan untuk mengurangi kegetasan material hasil *quenching*. Proses ini dilakukan dengan memanaskan material yang sudah di *quench* pada temperatur di bawah temperatur kritisnya selama rentang waktu tertentu dan kemudian didinginkan secara perlahan, pada sistem pengolah panas material akan melewati 3 zona untuk proses *tempering*. Setelah melewati rangkaian proses *heat treatment*, material akan diuji di laboratorium metalurgi untuk mengetahui sifat fisis dan mekanik dari material tersebut.

Pada proses *heat treatment* yang terlibat dalam pembuatan *fastener*, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat fisis dan mekanik dari material. Perusahaan ingin menentukan dan mengendalikan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanik material tersebut. Untuk itu dilakukan penelitian untuk mendapatkan faktor-faktor yang berpengaruh serta mengetahui besar pengaruh dari masing-masing faktor tersebut kemudian mengetahui level yang tepat untuk tiap faktor sehingga proses *heat treatment* dapat optimum dan dapat mengurangi biaya produksi yang ada. Dengan demikian, kualitas hasil produksi tetap terjaga disamping itu efisiensi dan efektifitas perusahaan dapat ditingkatkan.

Dalam penelitian ini digunakan metode Taguchi. Metode taguchi merupakan kombinasi dari metode matematika dan statistika yang digunakan untuk pembelajaran secara empiris. Hal ini dapat mengetahui kondisi eksperimental dengan variabilitas tertentu untuk mencapai kondisi yang optimum dan dapat menekan biaya produksi. Variabilitas tersebut dapat dinyatakan dengan *signal to noise* atau rasio (S/N). Dimana kondisi eksperimental dengan nilai rasio (S/N) tertinggi dianggap sebagai kondisi optimal (Ata Kamyabi, 2010). Eksperimen menggunakan desain statistik banyak digunakan dalam studi terkait. Mehata *et. al.*, (2011) bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dari produk yang terbuat dari plastik daur ulang dengan metode

BAB I PENDAHULUAN



taguchi, daripada menambahkan sejumlah aditif ke produk tersebut. Dengan menentukan kombinasi yang optimal dari faktor dan level rasio campuran dari minyak dan plastik daur ulang dapat dievaluasi melalui sifat mekanik yang ditunjukkan oleh senyawa. Wang *et al.*, (2009) mempelajari tentang paduan Inconel 718 dan menggunakan metode taguchi untuk desain eksperimental yang efisien dalam mengurangi ukuran sampel dan efektif untuk menentukan faktor yang signifikan. Dalam penelitian Wang, digunakan matriks *orthogonal array* L₉ dan hasilnya membuktikan bahwa lapisan korosif yang terbentuk dari asam fosfat dan asam klorida pada suhu yang signifikan dapat meningkatkan pengikisan lapisan *recast* pada paduan Inconel 718. Aggarwal *et al.*, (2008) menyajikan temuan penyelidikan eksperimental, dengan menggunakan teknik Taguchi didapatkan bahwa lingkungan *cryogenic* adalah faktor yang paling signifikan faktor dalam meminimalkan konsumsi daya diikuti oleh kecepatan spindle dan kedalaman potong. Gan Shu San *et al.*, (2001) mempelajari tentang optimasi proses injeksi hal ini diakibatkan karena sekitar 3% produk yang dihasilkan suatu perusahaan plastik tidak memenuhi standar. Sehingga untuk menurunkan tingkat kecacatan produk digunakan metode taguchi. Dengan menggunakan desain eksperimental yang sesuai, akhirnya ditemukan kombinasi level dari faktor yang sesuai dan dapat mengurangi tingkat kecacatan hingga 0,3%. Amri (2008), melakukan penelitian untuk mengendalikan kualitas produk dari sebuah unit usaha produsen genteng. Dengan menggunakan metode taguchi, diperoleh penurunan presentase tingkat kerusakan produk genteng sebesar 4,03%. Selain itu juga terjadi penurunan fungsi kerugian kualitas atau *Quality Loss Function* (QLF) sebesar Rp. 38.188.260,36- per tahun.

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, pada umumnya sistem pengolah panas telah memiliki parameter standar untuk proses *heat treatment* namun belum diketahui apakah parameter-parameter tersebut merupakan kondisi yang optimum untuk proses *heat treatment* yang dilakukan. Untuk itu



objek dari penelitian ini adalah aplikasi metode Taguchi untuk menentukan level yang tepat dari faktor berpengaruh untuk mencapai optimasi proses *heat treatment* dan dapat mengurangi biaya produksi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam optimasi proses *heat treatment* produk *fastener* ini adalah sebagai berikut:

1. Faktor apa saja pada proses *heat treatment* yang berpengaruh terhadap sifat mekanik material?
2. Bagaimana level yang tepat untuk tiap faktor agar proses *heat treatment* dapat optimum dan mengurangi biaya produksi yang ada?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan permasalahan dan asumsi agar didapatkan penelitian yang terarah dan kejelasan analisis permasalahan pada kasus ini adalah sebagai berikut:

1. Kondisi peralatan pengujian dianggap sempurna sehingga menghasilkan data yang akurat
2. Faktor lain yang tidak diamati dianggap konstan dan sesuai dengan standar operasional.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian terhadap optimasi proses *heat treatment* produk *fastener* ini adalah sebagai berikut;

1. Menentukan dan menganalisa faktor proses *heat treatment* yang berpengaruh terhadap sifat mekanik material
2. Menentukan dan menganalisa level yang tepat untuk tiap faktor agar proses *heat treatment* dapat optimum dan mengurangi biaya produksi yang ada.



1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian mengenai optimasi proses *heat treatment* produk *fastener* diharapkan dapat diperolehnya manfaat sebagai berikut:

1. Memperbaiki kualitas produk dan proses serta menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin.
2. Penelitian dapat dijadikan acuan dalam proses *heat treatment* untuk produk *fastener*.
3. Bagi pembaca diharapkan dapat memahami dan mengaplikasikan ilmu yang terdapat pada penelitian ini sebagai alat bantu untuk penelitian lain yang terkait di kemudian hari.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Chih-Cheng Yang *et al.*, (2016) menganalisa mengenai kondisi optimum parameter proses *spherodized annealing* untuk meningkatkan sifat mekanik kumparan baja karbon 1022 dengan metode Taguchi. Dimana kualitas proses *spherodized annealing* pada *wire* mempengaruhi pembentukan *fastener*. Dalam industri *fastener*, sebagian besar perusahaan menggunakan proses subkritis untuk *spherodized annealing*. Berbagai parameter mempengaruhi kualitas *spherodized annealing* pada kawat baja, seperti temperatur proses, waktu pemanasan, waktu pendinginan dan laju nitrogen. Efek dari parameter proses tersebut mempengaruhi kualitas kawat baja seperti kekerasan dan kekuatan tarik. Dengan dilakukannya serangkaian tes ekperimental pada kawat baja karbon rendah AISI 1020 lalu dari hasil uji tersebut digunakan metode taguchi untuk menentukan kondisi optimum dari setiap parameter proses. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur pendinginan dan waktu pemanasan memiliki pengaruh terbesar pada sifat mekanik kawat baja. Perbandingan antara hasil yang diperoleh dengan menggunakan kondisi proses *spherodized annealing* optimal dan pengaturan awal menunjukkan pengaturan parameter proses *spherodized annealing* optimum secara efektif meningkatkan sifat mekanik dibanding pengaturan awal.

Ajay Kumar *et al.*, (2016) mengoptimasi parameter *heat treatment* dengan teknik taguchi. Hal yang diteliti mengenai pengaruh perlakuan panas terutama *quenching* yang diikuti oleh *tempering*. Struktur mikro dan kekerasan dari baja karbon menengah yang menjadi objek penelitian. Tujuan penelitian tersebut untuk meningkatkan kekerasan. Eksperimen dilakukan sebanyak 9 kali dengan variasi temperatur pemanasan pada 850°C, 900°C dan 950°C sementara variasi waktu tahan yakni 1 jam, 1.5 jam dan 2 jam dan temperatur *quenching* pada 10°C, 20



°C dan 30 °C. Hasil analisa taguchi menunjukkan bahwa parameter optimal untuk kekerasan pada temperatur 950 °C, waktu tahan 1 jam dan temperatur *quenching* 30°C.

Chih-Chun Chang *et al.*, (2010) melakukan analisa mengenai optimasi parameter *heat treatment* dengan metode taguchi untuk paduan aluminium A7050. Dimana pada penelitian tersebut proses perlakuan panas menggunakan *dual aging* untuk paduan aluminium A7050, metode taguchi diaplikasikan untuk optimasi parameter proses perlakuan panas tersebut. Adapun respons nya berupa kekerasan mikro dan konduktivitas listrik. Temperatur *pre-aging*, waktu *pre-aging*, temperatur *re-aging* dan waktu *re-aging* merupakan faktor yang mempengaruhi respons tersebut. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa temperatur *re-aging* adalah parameter yang paling signifikan untuk konduktivitas listrik sementara untuk kekerasan mikro selain temperatur *re-aging*, waktu *aging* juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi. Kekerasan optimal dicapai A7050 dengan kondisi temperatur *pre-aging* 120°C, waktu *pre-aging* 12 jam, temperatur *re-aging* 140°C, dan waktu *re-aging* 180°C. Sementara untuk mendapatkan konduktivitas listrik optimal dicapai dengan kondisi temperatur *pre-aging* 120°C, waktu *pre-aging* 4 jam, temperatur *re-aging* 180°C, dan waktu *re-aging* 24 jam.

Palguna Kumar *et al.*, (2014) menganalisa mengenai parameter proses *heat treatment* paduan aluminium A2024 dengan menggunakan pendekatan *orthogonal array*. Paduan aluminium A2024 cocok untuk komponen struktur pesawat seperti sayap dan bagian otomotif. Peningkatan pada sifat mekanik yang berupa kekerasan dan kekuatan tarik pada paduan aluminium A2024 merupakan hal penting. Sehingga dilakukan optimasi dengan mempertimbangkan empat faktor signifikan yang mempengaruhi kekerasan dan kekuatan tarik. Dengan menggunakan *orthogonal array* L₉ dan dilakukan analisa terhadap rasio S/N, level optimal untuk meningkatkan kekerasan pada paduan AL 2024 adalah temperatur larutan 490°C, waktu pelarutan 30 menit, temperatur *aging* 180°C, dan waktu *aging* 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



jam. Dengan kondisi demikian prediksi nilai kekerasan yakni 80,89 HRB. Sementara untuk meningkatkan kekuatan tarik dari paduan AL 2024 pada kondisi temperatur larutan 490°C, waktu pelarutan 90 menit, temperatur *aging* 160°C, dan waktu *aging* 6 jam.

The Vinh Do *et al.*, (2016) menganalisa mengenai kondisi *minimum quality lubricant* (MQL) dan parameter pemotongan dalam proses *hard milling* untuk baja AISI H13 dengan metode taguchi. Dimana pada penelitian tersebut metode taguchi diaplikasikan untuk mendapatkan nilai-nilai optimal dari kondisi MQL pada proses *hard milling* dari AISI H13 dengan pertimbangan mengurangi kekasaran permukaan. Pada penelitian tersebut dilakukan perhitungan terhadap rasio S/N, analisis varians (ANOVA) dimana berdasarkan hasil penelitian pelumas dan tekanan dari MQL merupakan faktor yang paling signifikan secara statistik pada permukaan mesin. Metode taguchi juga digunakan untuk mengoptimalkan parameter pemotongan untuk mendapatkan kekasaran permukaan terbaik. Desain eksperimen dilakukan dengan *orthogonal array* L₂₇. Berdasarkan analisis respon rasio S/N, ANOVA menunjukkan bahwa laju pemakanan adalah faktor yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

L.Z Han *et al.*, (2016) telah menganalisa mengenai efek dari temperatur *tempering* terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik dari reaktor *pressure vessel*. Dimana materialnya merupakan baja SA508 Gr. 3. Material tersebut diberikan perlakuan *tempering* pada rentang temperatur 580°C sampai 700°C selama 5 jam. Seiring dengan naiknya temperatur, kekuatan impak yang dikualifikasi dengan *Charpy V-Notch* mengalami kenaikan dari 142 J menjadi 252 J namun kemudian mengalami penurunan menjadi 47 J. Nilai maksimum didapatkan pada temperatur 650°C. Ditemukan pula semakin tinggi temperatur *tempering* maka akan terbentuk martemper yang lunak sehingga kekerasan akan berkurang.



Penelitian yang dilakukan oleh Fajar Kurniawan (2012) mengenai efek temperatur *hardening* terhadap kekerasan pada baja AISI 4140H menggunakan variasi temperatur 820°C, 830°C, 840°C untuk media pendingin air dan variasi temperatur 840°C, 850°C, 860°C untuk media pendingin oli dengan *holding time* 60 menit . Didapatkan hasil bahwa nilai kekerasan optimal sebesar 58,6 HRC terjadi pada temperatur 840°C dengan media pendingin air sedangkan dengan media pendingin oli kekerasan optimal sebesar 54,3 HRC terjadi pada temperatur 860°C. Selain itu ditemukan pula pendinginan dengan media air menghasilkan struktur mikro yang lebih kasar dibandingkan oli.

Sementara Penelitian yang dilakukan oleh Ihsan Gata Bangsawan pada tahun 2012 menggunakan variasi temperatur 800°C, 840°C, 880°C dan *holding time* 15, 25, 35 menit dengan media pendingin oli SAE 40 pada baja ASSAB 760 menunjukkan nilai kekerasan optimal sebesar 27,66 HRC dengan menggunakan temperatur 800°C dan *holding time* 35 Menit.

D. Manivel *et al.*, (2016) dalam penelitiannya mengenai optimasi kekasaran permukaan dan keausan alat pada besi ulet yang diberikan perlakuan *austempered* dengan metode taguchi, menggunakan *orthogonal array* L₁₈ sebagai desain eksperimentalnya. Melalui pengolahan data dengan ANOVA dan perhitungan rasio *signal to noise* didapatkan hasil bahwa faktor utama yang berkontribusi terhadap kekasaran permukaan dan keausan alat adalah kecepatan pemotongan dengan kontribusi sebesar 49,1% dan 50,2% dan berdasarkan perhitungan rasio S/N ditemukan level yang optimum untuk kekasaran permukaan adalah *nose radius* = 0.8 mm, kecepatan pemotongan = 50 m/min, *feed rate*= 0.08 mm/rev dan kedalaman pemotongan= 0,2 mm sementara level optimum untuk keausan alat adalah *nose radius* = 0,4mm, kecepatan pemotongan= 100m/min, *feed rate*= 0.12 mm/rev dan kedalaman pemotongan= 0,3 mm.

Ata Kayambi *et al.*, (2010) menganalisa parameter *heat treatment* untuk baja CK60 dengan menggunakan metode taguchi. Pada penelitian ini menggunakan dua faktor yakni struktur mikro

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



awal dan waktu *spherodizing*. Adapun level untuk masing-masing parameter berjumlah 4, yakni untuk struktur mikro awal berupa martensit, perlit kasar, perlit halus dan bainit. Untuk variasi waktu *spherodizing* berupa 4, 8, 12 dan 16 jam. *Spherodizing* dilakukan pada temperatur 700°C. Hasilnya faktor utama yang mempengaruhi persen struktur *spherodizing* adalah waktu yang berkontribusi sebanyak 58,5% dan untuk faktor struktur mikro awal berkontribusi sebanyak 31,1%. Waktu *spherodizing* untuk struktur yang tidak stabil seperti martensit dan bainit juga lebih lama dibandingkan struktur yang stabil seperti perlit kasar dan halus.

2.2 Fastener

Fastener atau pengikat digunakan untuk menggabungkan beberapa bagian atau komponen menjadi suatu komponen *assembling*. *Fastener* dipergunakan karena komponen *assembling* tidak mungkin dibuat utuh dari satu bagian. Sehingga dibuat menjadi beberapa parts untuk mempermudah *manufacturing* pemasangan, perawatan dan perbaikan.

Adapun titik yang paling lemah pada semua rakitan adalah pada *fastener*. Oleh sebab itu sangat penting untuk mengetahui kekuatan *fastener* yang dibutuhkan. Selanjutnya adalah *fastener* tersebut harus digunakan dengan benar, dan untuk mur-mur serta baut-baut, yang merupakan alat pengikat mekanis yang paling umum, ukuran torsi yang tepat harus selalu digunakan.

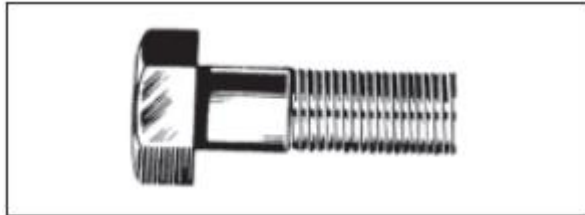
Kekuatan *fastener* tadi ditentukan oleh ketebalan, atau diameternya, dan bahan pembuatnya. Jika perlu meningkatkan kekuatan *fastener*, maka harus memperbesar ukurannya, atau memilih ukuran yang sama tetapi terbuat dari bahan yang lebih kuat. Beberapa jenis *fastener* yang umum digunakan seperti baut (*bolt*), *screw*, dan *stud*.

2.2.1 Baut (*Bolt*)

Baut biasanya tidak seluruhnya berulir dan mungkin dipasang dengan sebuah mur atau disekerupkan ke dalam lubang berulir



pada sebuah komponen. Ada beberapa macam bentuk kepala baut. Pada Gambar 2,1 menunjukkan salah satu contoh dari baut.

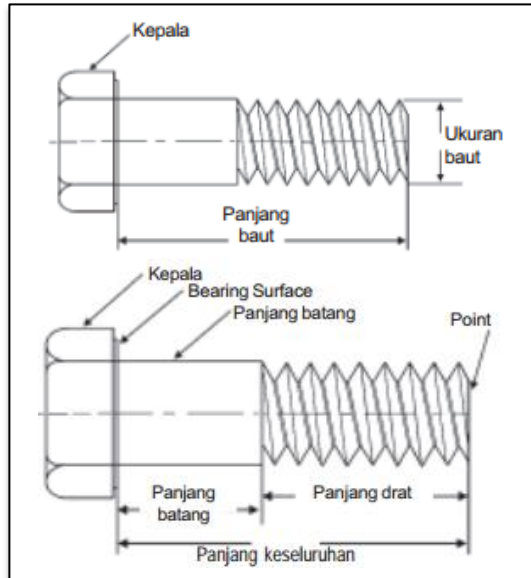


Gambar 2.1 Baut (Bolt)

Adapun bagian-bagian dari baut yakni sebagai berikut:

- Kepala (*Head*), terbentuk pada satu ujung baut untuk menyediakan suatu permukaan untuk penahan baut (*bearing surface*) yang memungkinkan kepala baut bisa dipasang kunci/ alat agar baut dapat diputar.
- Panjang drat (*Thread Length*) yang merupakan panjang uliran baut.
- Panjang batang (*Grip Length*) yang merupakan panjang bagian yang tidak berdrat. Selain itu juga disebut tangkai (*shank*).
- Panjang Baut atau Panjang Tangkai (*Bolt Length/Shank Length*), panjang baut dari *bearing surface* sampai ujung drat.
- Bearing Surface*, bagian bawah kepala baut
- Point*, bagian ujung baut tempat bermulanya drat.

Pada Gambar 2.2 menunjukkan bagian-bagian dari baut (*bolt*) sebagai berikut.



Gambar 2.2 Bagian-bagian Pada Baut (Ruly,2013)

2.2.2 Penggolongan Baut







Jenis baja yang digunakan untuk membuat baut (dan sekrup), cara pengolahan selama pembuatannya menentukan kekuatan dan juga kegunaannya. Faktor kekuatan ini juga dikenal dengan nama “Grade” dari alat pengikat (*fastener*) ditentukan oleh kekuatan daya rentang/regang (*tensile*) baut tersebut, maksudnya berapa banyak tarikan (*pull*) yang dapat ditahan baut tersebut sebelum patah. *Grade* sebuah baut ditandai pada bagian kepala baut. Beragamnya tanda juga menunjukkan apakah baut tersebut SAE (*Society of Automotive Engineers*) dan ukuran satuan imperial, atau tanda *International Standard Organisation* (ISO) untuk baut yang diukur dengan satuan metrik.

a. Metrik



International Standard Organisation (I.S.O) telah menetapkan standar-standar untuk baut-baut berukuran metrik. Standar-standar tersebut diwujudkan sebagai kelas-kelas berdasarkan kekuatan. Tanda cap, yaitu nomorpada bagian kepala menunjukkan golongan kelasnya. Semua baut metrik bermutu tinggi dan sekrup yang lebih besar dari 4 mm mempunyai tanda cap. Kelas-kelas dari penggolongan ini ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penggolongan Baut Berdasarkan ISO

ISO Property Class Markings For Steel Metric Bolts and Screws				
Tanda Huruf Kelas	Spesifikasi	Ukuran	Kekuatan Tensil	Persamaan Dengan Baut Inchi
 	Class 4.6	M5 and large	400	SAE Grade 1
	Class 4.8	Sampai M16	420	
	Class 5.8	M5 sampai M24	520	SAE Grade 2
	Class 8.8	Sampai M16	800	SAE Grade 5
		lebih dari M16	830	
	Class 9.8	Sampai M16	900	Nine percent Stronger Than SAE Grade 5
	Class 10.9	Sampai M36	1040	SAE Garde 8

(Ruly,2013)

2.3 Baja

Baja adalah istilah umum yang mempunyai referensi yang luas, termasuk baja-baja ‘lunak’, beberapa di antaranya sangat keras dan yang lain sangat kuat, sedangkan yang lain spesial untuk pembuatan perkakas pemotong; yang lain adalah pegas dan baja-baja dengan kekuatan tarik yang tinggi, baja otomatis yang mudah dikerjakan dengan mesin, berbagai jenis baja tahan karat *deep-drawing steels* untuk pengerjaan tempa (misalnya karoseri mobil) dan sejumlah besar baja khusus, yang semuanya

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



diperlukan untuk memenuhi kebutuhan teknologi modern yang kesemuanya ini mulai dari besi kasar.

Walaupun baja dapat didefinisikan sebagai campuran karbon dan besi, tetapi perlu diketahui bahwa tidak ada satu jenis baja pun yang hanya terdiri dari dua elemen ini. Karena proses pembuatan dan sifat-sifat alamiah dari bahan-bahan mentah yang digunakan, semua baja mengandung bahan lain yang tidak murni dalam jumlah kecil yang bervariasi, seperti posfor, belerang, mangan, dan silikon, bercampur dengan elemen-elemen sisa lainnya. Kotoran-kotoran ini tidak mungkin dapat dihilangkan seluruhnya dari logam. Menurut (Suharto, 1991), Pada 723°C baja mulai menunjukkan perubahan struktur dan pada 1550°C baja melebur. Menurut (Van Vlack, 1992) mengingat pentingnya peran karbon dalam baja, dalam berbagai cara identifikasi baja dicantumkan kadar karbonnya. Digunakan penomoran empat digit, dua digit terakhir menyatakan kadar karbon dalam perseratusan persen. Dua digit pertama menunjukkan jenis elemen paduan yang ditambahkan pada besi dan karbon. Kandungan karbon dalam baja sekitar 0,1-1,7% sedangkan unsur lain dibatasi persentasenya. Presentase dari unsur-unsur tersebut sangat mempengaruhi sifat dasar dari logam baja yang dihasilkan.

Produk baja sangat banyak digunakan dalam bidang teknik maupun industri. Hal ini meliputi 95% dari seluruh produksi logam baja. Untuk penggunaan tertentu baja merupakan satu-satunya logam yang memenuhi persyaratan teknis maupun ekonomi. Sebelum baja digunakan perlu diketahui komposisi dari unsur-unsur baja tersebut agar tidak terjadi kesalahan dalam penggunaannya (Amanto, 1999).

1. Baja Karbon

Menurut komposisi kimianya baja dapat dibagi dua kelompok besar yaitu: baja karbon dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain, selain besi dan karbon. Baja karbon masih mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak



berpengaruh pada sifat dasar baja. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi/baja seperti mangan dan silikon dan beberapa unsur pengotoran, seperti belerang, posfor, oksigen, nitrogen dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil.

Baja dengan kadar mangan kurang dari 0,8%, silikon kurang dari 0,5 dan unsur lain yang sangat sedikit, dapat dianggap sebagai baja karbon. Mangan dan silikon sengaja ditambahkan dalam proses pembuatan baja sebagai *deoxidizer*/ mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran. Baja karbon diproduksi dalam bentuk balok, profil, lembaran dan kawat. Baja karbon dapat digolongkan menjadi tiga bagian berdasarkan jumlah kandungan karbon yang terdapat di dalam baja tersebut. Penggolongan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

a. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas, baja karbon rendah bukan baja yang keras, karena kandungan karbonnya rendah berkisar 0,05-0,30%. Baja ini mempunyai sifat seperti lunak, mudah dibentuk, dilas, dan dikerjakan dengan mesin sehingga dapat dijadikan mur, baut, batang tarik dan perkakas silinder (Alexander, 1991).

b. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah mengandung karbon 0,3–0,6% dan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon menengah digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, batang torak, rantai, pegas dan lain-lain.

c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi mengandung karbon 0,6 – 1,5% dibuat dengan cara menggerindra permukaannya, misalnya bor dan batang dasar. Ini digunakan untuk peralatan mesin-mesin berat, batang pengontrol dan lain-lain (Alexander 1991).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2. Baja Paduan

Pada umumnya baja paduan dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal dari baja karbon karena bertambahnya biaya untuk penambahan unsur khusus yang dilakukan dalam industri atau pabrik. Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran.

Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran, misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan molibden, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat kenyal (sifat logam ini membuat baja dapat dibentuk dengan cara dipalu, ditempa, digiling dan ditarik tanpa mengalami patah atau retak-retak). Jika baja dicampur dengan kromium dan molibden akan menghasilkan baja yang tahan terhadap panas.

Baja paduan digunakan karena adanya keterbatasan baja karbon saat dibutuhkan sifat-sifat yang spesial dari pada logam khususnya baja. Keterbatasan dari baja karbon adalah reaksinya terhadap pengerjaan panas dan kondisinya. Sifat-sifat spesial yang diperoleh dari pencampuran meliputi sifat kelistrikan, magnetis dan koefisien spesifik dan pemuaian panas dan tetap keras pada pemanasan yang berhubungan dengan pemotongan logam (Amanto, 1999).

2.4 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram keseimbangan fasa besi-besi karbida dapat dilihat pada Gambar 2.1. Diagram ini dihasilkan pada proses pendinginan lambat. Baja dan besi tuang yang ada kebanyakan berupa paduan besi dengan karbon, dimana karbonnya berupa senyawa intertisial (*sementit*). *Sementit* merupakan struktur logam yang metastabil.

Selain unsur karbon pada besi dan baja terkandung kurang lebih 0,25 % Si, 1,5 % Mn serta unsur pengotor lain seperti P, S, dan lainnya. Karena unsur-unsur tadi tidak memberikan

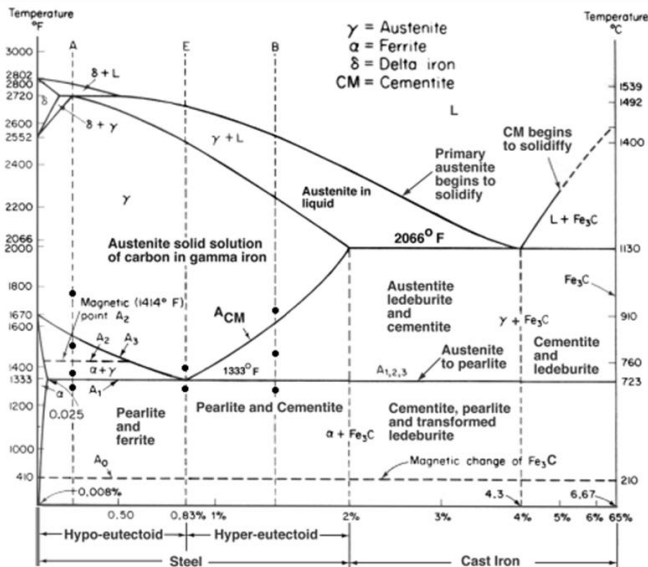


pengaruh utama pada diagram fasa, maka diagram fasa tetap dapat digunakan dengan menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut.

Melalui diagram keseimbangan Fe-Fe₃C secara garis besar baja dapat juga dikelompokkan sebagai berikut :

1. Baja *Hypoeutectoid* (C=0,008% - 0,80%)
2. Baja *Eutectoid* (C=0,8%)
3. Baja *Hyper-eutectoid* (C=0.8% - 2%)

Diagram fasa Fe-Fe₃C sangat penting dibidang metalurgi karena sangat bermanfaat dalam menggambarkan perubahan-perubahan fasa pada baja seperti tampak pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C
(Van Vlack,1992)

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon :

1. Austenit

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya *austenit* berubah menjadi *ferit* dan *perlit* atau *perlit* dan *sementit*. Sifat *austenit* adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%.

2. *Ferit*

Fasa ini disebut *alpha* (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon. Oleh sebab itu daya larut karbon dalam *ferit* rendah < 1 atom C per 1000 atom besi. Pada temperatur ruang, kadar karbonnya 0,008 %, sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025 % pada temperatur 723 °C. Ferit bersifat magnetik sampai temperatur 768° C. *Ferit* lunak dan liat. Kekerasan dari ferit berkisar antara 140-180 HVN.

3. *Perlit*

Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu *ferit* dengan kadar karbon 0,025 % dan *sementit* dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon 6,67 % yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi *perlit* merupakan struktur mikro dari reaksi eutektoid *lamellar*. Kekerasan dari *perlit* kurang lebih berkisar antara 180-250 HVN.

4. *Bainit*

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa *austenit* ke temperatur antara 250°C-550°C dan ditahan pada temperatur tersebut (*isothermal*). Bainit adalah struktur mikro dari reaksi *eutectoid*, *non lamellar* (tidak berupa lapisan). Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa *ferit* dan *sementit* (Fe₃C). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300-400 HVN.

5. *Martensit*

Martensit merupakan fasa dimana *ferit* dan *sementit* bercampur, tetapi bukan dalam *lamellar*, melainkan jarum-jarum



sementit. Fasa ini terbentuk dari *austenit* meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi Fe_3C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi *isothermal* pada 260°C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam matriks *ferit*. *Martensit* bilah (*lath martensit*) terbentuk jika kadar C dalam baja sampai 0,6 % sedangkan di atas 1% C akan terbentuk *martensit* pelat (*plate martensite*). Perubahan dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval $0,6\% < C < 1,08\%$. Kekerasan dari *martensit* > 500 HVN.

6. *Sementit* (karbida besi)

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (*sementit*). Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C . Dibandingkan dengan *ferit*, *sementit* sangat keras. Karbida besi dalam *ferit* akan meningkatkan kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Kekerasan *sementit* adalah 800 HVN.

2.5 Pengaruh Unsur Paduan pada Baja

Selain unsur *ferro* dan karbon, dalam baja terkandung unsur tambahan lainnya. Bilamana untuk mendapatkan sesuatu dengan kualitas tertentu sesuai dengan yang diinginkan, biasanya dilakukan pengurangan atau penambahan unsur-unsur paduan baja sampai kadar yang diinginkan.

Berikut ini adalah unsur-unsur paduan yang biasanya terdapat pada baja beserta pengaruhnya pada baja (Surdia dan Chijiwa, 1996), yaitu :

1. Silikon (Si)

Terkandung pada jumlah kecil dalam suatu besi dan dibutuhkan dalam jumlah besar pada jenis-jenis istimewa yang dapat menaikkan kekuatan, kekerasan, kemampuan diperkeras secara keseluruhan, ketahanan aus, tahan terhadap panas dan karat, tahan terhadap korosi. Tetapi dapat menurunkan keliatan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



serta kemampuan tempa dan las.

2. Mangan (Mn)

Terkandung dalam semua bahan besi bersama unsur silisium. Unsur ini dapat menaikkan kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus. Tahan terhadap korosi dan mengalami penguatan pada pembentukan dingin.

3. Khrom (Cr)

Merupakan unsur terpenting pada baja konstruksi dan baja perkakas yang dapat meningkatkan kekerasan, kekuatan, batas rentang, membuat baja tahan karat dan panas serta mempermudah pemolesan dan ketahanan terhadap korosi.

4. Nikel (Ni)

Penambahan unsur nikel pada baja akan memudahkan dilas, disolder dan diberi perlakuan pengelupas serpih dengan baik serta dapat dibentuk dalam keadaan dingin atau panas, dapat dipoles. Dapat meningkatkan ketangguhan, kekuatan, pengerasan, tahan karat dan tahan terhadap listrik. Di sisi lain dapat menurunkan sifat baja terhadap kecepatan pendinginan.

5. Molibdenum (Mo)

Unsur ini kebanyakan dipadu dalam ikatan khrom (Cr), nikel (Ni) dan vanadium (V) yang menurunkan kekuatan tarik, batas rentang dan penempatan temper secara menyeluruh tapi dengan kerugian dapat menurunkan keliatan.

6. Vanadium (V)

Unsur ini dapat meningkatkan kualitas seperti sifat unsur molibdenum (Mo) dengan dampak lain dapat menurunkan kepekaan terhadap sengatan panas yang melewati batas perlakuan panas.

7. Wolfram (W)



Sebagai bubuhan baja yang mempunyai titik lebur tinggi. Biasanya produk dihasilkan berupa kawat pijar dan logam keras. Meningkatkan kekerasan, batas rentang, ketahanan panas, ketahanan normalisasi dan daya serat, serta dapat menurunkan keliatan pada baja dalam skala kecil.

8. Aluminum (Al)

Mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan unsur silisium, yaitu menambah ketangguhan dan kemampuan diperkeras secara menyeluruh dan meningkatkan ketahanan karat.

2.6 Perlakuan Panas

Dewasa ini terdapat berbagai jenis bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri, jenis-jenis yang sangat beragam kadang-kadang menyulitkan pemilihan yang tepat. Bahan yang satu mempunyai keunggulan ditinjau dari segi keuletan, lainnya tahan terhadap korosi, mulur (*creep*) atau temperatur kerja yang tinggi namun cukup mahal, oleh karena itu pemilihan bahan baku berdasarkan pertimbangan ekonomis memegang peranan yang sangat penting pula.

Penentuan bahan yang tepat pada dasarnya merupakan kompromi berbagai sifat, lingkungan dan cara penggunaan, sampai dimana sifat bahan dapat memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Bahan teknik perlu diketahui secara seksama karena bahan teknik digunakan untuk berbagai macam keperluan dalam berbagai keadaan

Bahan teknik dapat digolongkan menjadi tiga bagian yaitu logam, bukan logam dan komposit. Bahan logam dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu *ferro* dan *non ferro*, sedangkan bahan bukan logam terdiri dari polimer, kayu, kulit, karet. Komposit adalah bahan yang tersusun dari logam dengan logam lain

Bahan *ferro* kandungan utamanya adalah besi ditambah unsur-unsur lain sehingga menghasilkan jenis paduan besi yang



beragam antara lain besi cor, baja dan baja paduan. Bahan bukan *ferro* antara lain tembaga, seng, aluminium magnesium, timah hitam, timah putih, nikel, titanium, dan paduan–paduan lainnya, sifat – sifat bahan logam perlu dikenal secara baik karena bahan tersebut dipakai pada berbagai kepentingan dan segala keadaan sesuai dengan fungsinya, tetapi kadang kala sifat-sifat bahan logam ternyata kurang memenuhi persyaratan sesuai dengan fungsinya, sehingga diperlukan suatu usaha untuk meningkatkan atau memperbaiki sifat-sifat logam. Sifat-sifat logam dapat ditingkatkan dengan cara perlakuan panas pada logam.

Hari Amanto dan Daryanto (1999: 63), menyatakan bahwa perlakuan panas adalah proses memanaskan bahan sampai temperatur tertentu dan didinginkan menurut cara tertentu, tujuan perlakuan panas itu adalah untuk memberikan sifat yang lebih sempurna pada bahan. Tata Surdia dan Kenji Chijiwa (1999:185). Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat dari logam dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur yang cocok, kemudian dibiarkan beberapa waktu pada tempertaur itu, kemudian didinginkan ke temperartur yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai. B.H. Amstead , Phillip F. Ostwald dan Myron L. Begeman (1997: 135) berpendapat bahwa perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Baja dapat diberi perlakuan panas untuk meningkatkan ketangguhan dan keuletan sehingga tahan terhadap abrasi dan kejutan beban yang dapat menimbulkan deformasi pada bagian tersebut.

Kesimpulannya perlakuan panas adalah memanaskan logam atau paduan mencapai temperatur tertentu lalu menahannya beberapa saat pada temperatur tersebut, setelah itu logam atau paduan dapat didinginkan sesuai dengan laju pendinginan tertentu, selama pemanasan dan pendinginan ini akan terjadi beberapa perubahan struktur mikro, dapat berupa perubahan bentuk dan ukuran butir kristalnya, dan perubahan struktur mikro



tersebut dapat menyebabkan terjadinya perubahan sifat logam atau paduan tersebut.

Perlakuan panas memiliki tujuan untuk menghasilkan atau merubah sifat-sifat logam untuk tujuan tertentu untuk kegunaan industri.(B.S Narang, 1982: 13).

- a. Tujuan dari perlakuan panas pada logam :
 - 1) Merubah atau memperbaiki ukuran butiran kristal.
 - 2) Mengurangi atau menghilangkan tegangan dalam logam selama proses pengerjaan panas maupun pengerjaan dingin.
 - 3) Memperbaiki sifat-sifat mekanik seperti kekuatan (*strength*), kekerasan (*hardness*), ketahanan fatik (*fatigue resistance*), kekenyalan (*ductility*), dan tahanan kejut/impak (*impact/shock resistance*).
 - 4) Meningkatkan ketahanan terhadap panas dan korosi.
 - 5) Menghasilkan permukaan yang keras.
- b. Proses perlakuan panas meliputi :
 - 1) Pengerasan (*hardening*)
 - 2) Penyepuhan (*tempering*)
 - 3) Pemijaran dingin (*annealing*)
 - 4) Penormalan (*normalizing*)
 - 5) Pengerasan permukaan (*carburising dan nitriding*)

2.7 Hardening

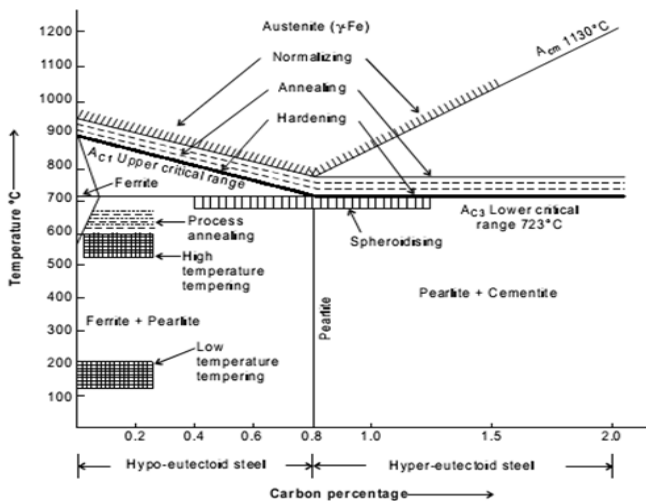
Hardening adalah proses pemanasan baja sampai temperatur di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat (B.H. Amstead, Philips F. Ostwald dan Myron L. Begeman, 1997)

Pengerasan adalah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja (Alois Schonmetz, Karl Gruber, 1985)

Proses pengerasan bertujuan untuk menambahkan kekerasan, kekuatan dan memperbaiki ketahanan baja dalam pemakaiannya. Pengerasan dicapai dengan memanaskan baja



hingga mencapai temperatur di atas temperatur pengerasan kemudian didinginkan pada media pendingin yang tersedia. Cara pemanasannya bertahap dan pada setiap penambahan temperatur ditahan selama beberapa menit sesuai dengan ukuran sampel, apabila ukuran sampel berbeda maka dalam melakukan pemanasannya untuk sampel yang berukuran kecil diberi matras dengan ukuran sama dengan sample yang besar sehingga kedua sample tersebut dapat mencapai temperatur di atas temperatur pengerasan (temperatur kritis) secara bersamaan.



Gambar 2.4 Jenis Perlakuan Panas
(Smallman & Bishop, 2000:68)

Penahanan temperatur tersebut bertujuan supaya panas dapat merata ke seluruh benda kerja, karena benda kerja yang bentuknya tidak teratur, maka benda tersebut harus dipanaskan perlahan-lahan agar tidak mengalami distorsi ataupun retak semakin besar potongan benda, semakin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil yang merata.

Kekerasan yang dapat dicapai pada proses pendinginan tergantung pada laju pendinginan, kadar karbon serta ukuran benda. Struktur *martensit* secara penuh dapat diperoleh dengan



pendinginan yang cepat, sedangkan untuk mendapatkan pendinginan yang cepat dapat digunakan air, larutan garam atau air yang disemprotkan. Temperatur media pendingin harus merata, agar pendinginan yang dicapai merata juga. Media pendingin untuk proses pengerasan dapat juga menggunakan minyak atau oli bahkan udara.

Baja yang mengandung karbon kurang dari 0,83% bila dipanaskan di atas titik kritis atas (tertinggi), maka akan terjadi perubahan *perlit* menjadi *austenit* dan pendinginan secara cepat yang dilakukan pada temperatur itu akan membentuk *martensit*.

Temperatur pemanasan untuk baja karbon biasanya sama dengan temperatur anil sempurna. Perhatikan Gambar 2.4. Baja yang mengandung karbon kurang dari 0,83 % dipanaskan 30°–50° C diatas titik kritis atas (tertinggi). Seluruh unsur karbon masuk ke dalam larutan padat dan selanjutnya didinginkan. Baja dengan kandungan karbon lebih dari 0,83 % biasanya dipanaskan 30°–50° C sedikit di atas titik kritis terendah (bawah). Dalam hal ini terjadi perubahan *perlit* menjadi *austenit*. *Martensit* akan terbentuk setelah dilakukan pendinginan pada temperatur itu.

Namun sewaktu kandungan karbon di atas 0,83 %, tidak terjadi perubahan *sementit* bebas menjadi *austenit* karena larutannya telah menjadi keras. Sehingga perlu dilakukan pemanasan pada temperatur tinggi untuk mengubahnya dalam bentuk *austenit* melalui pemanasan sampai pada fase besi *gamma* (γ) yang memiliki susunan atom yang lebih padat dengan susunan kristal atomnya berbentuk “berpusat pada dinding kubus”.

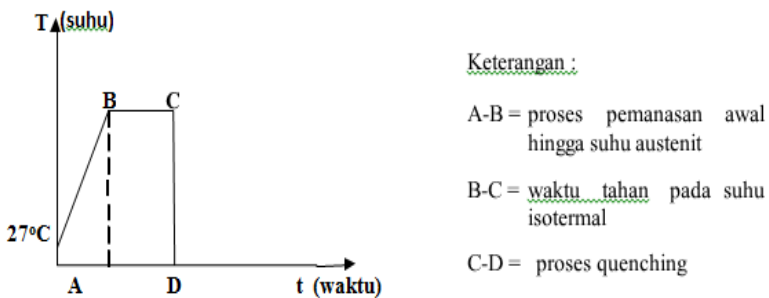
Alois schonmetz dan Karl Gruber (1994) mengemukakan temperatur pemanasan untuk baja paduan membutuhkan temperatur pengerasan yang lebih tinggi (800° C - 1000° C) untuk melarutkan karbid.

Setelah dilakukan pemanasan diatas titik kritis dilanjutkan dengan proses *quenching* yakni pendinginan secara cepat dengan cara dicelup ke dalam cairan pendingin, yang dapat berupa air, air garam, minyak, atau oli. Pencelupan ini bertujuan menambah kekerasan baja, yang biasanya dilakukan untuk memperoleh sifat

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



tahan aus yang tinggi atau kekuatan yang lebih baik. Dengan pendinginan cepat ini maka terbentuk martensit yang keras. Temperatur pemanasan, lama waktu tahan dan laju pendinginan untuk pengerasan banyak tergantung pada komposisi kimia dari baja. Kekerasan yang terjadi pada benda akan tergantung pada temperatur pemanasan, waktu tahan, jenis cairan dan laju pendinginan yang dilakukan pada proses laku panas, disamping juga pada *hardenability* baja yang dikeraskan. Semakin tinggi kadar karbon, semakin tinggi *hardenability* yang dimiliki baja. Proses *hardening* ditunjukkan oleh Gambar 2.5



Gambar 2.5 Diagram *Hardening*

2.8 Tempering

Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan baja setelah proses *quenching* sehingga diperoleh *ductility* tertentu. Proses *tempering* biasanya dilatarbelakangi oleh :

1. *Martensit* keras dan getas.
2. Mampu mesin dan *ductility* rendah.

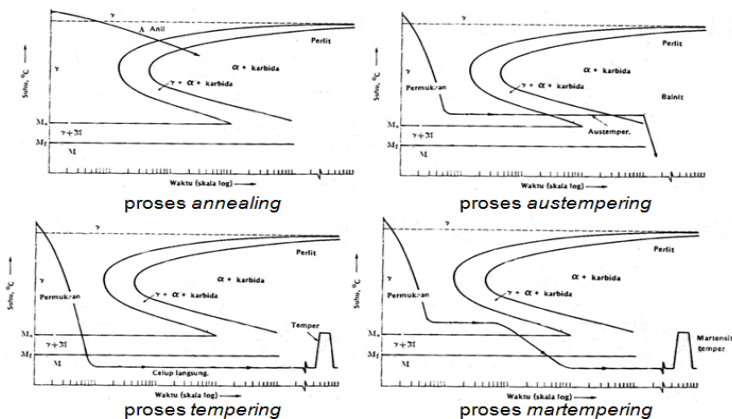
Tempering pada temperatur rendah antara 150°C–230°C tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti, karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu. Bila temperatur *tempering* meningkat, martensit terurai lebih cepat dan sekitar temperatur 315°C perubahan fasa menjadi *martensit Tempering* berlangsung lebih cepat. Unsur paduan mempunyai pengaruh yang berarti atas *tempering*,



pengaruhnya menghambat laju pelunakan sehingga baja paduan akan memerlukan temperatur *tempering* yang lebih tinggi untuk memperoleh kekerasan tertentu. Pada proses *tempering* perlu diperhatikan temperatur maupun waktu. Meskipun pelunakan terjadi pada saat-saat pertama setelah temperatur temper dicapai, selama pemanasan (yang cukup lama) terjadi penurunan kekerasan. Biasanya baja dipanaskan pada temperatur tertentu kemudian ditahan dalam waktu yang tertentu untuk mendapatkan harga kekerasan dan ketangguhan yang diinginkan.

2.9 Diagram Transformasi untuk Pendinginan

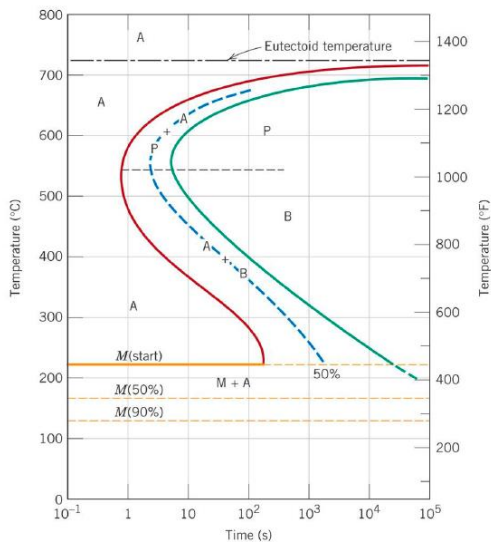
Diagram *IT* (*Isothermal Transformation*) atau *TTT* (*Time Temperature Transformation*) dilakukan dengan memanaskan baja karbon sehingga mencapai temperatur *austenit* kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan kontinu pada daerah fasa *austenit* kemudian menahannya untuk waktu tertentu dan mendinginkan lagi dengan laju pendinginan kontinu ditunjukkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Diagram *Isothermal* (*IT*) atau *TTT* / *Time Temperature Transformation* (Vlack, 1992)



Untuk menganalisa laju pendinginan yang tidak lambat dan tidak cepat dibuat diagram *CCT* (*Continuous Cooling Transformation*). Diagram ini dibuat dengan cara memanaskan baja karbon sampai mencapai temperatur *austenit* kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan yang kontinyu. Pada Gambar 2.7 memperlihatkan laju pendinginan untuk jenis baja *eutectoid*. Diagram transformasi pendinginan kontinyu atau *CCT* (*Continuous Cooling Transformation*) bentuknya agak berbeda dibanding dengan *TTT* (*Time Temperature Transformation*). Kurva transformasi tergeser sedikit ke kanan bawah dan pada baja karbon tidak terdapat daerah transformasi *austenit-bainit*. Ini disebabkan karena kurva awal transformasi *austenit-bainit* terhalang oleh kurva transformasi *austenit-perlit*.



Gambar 2.7 Diagram TTT (*Time Temperatur Transformation*)
untuk baja *eutectoid* (Avner, 1974)



2.10 Desain Eksperimen

Montgomery (1991) mendefinisikan desain eksperimen sebagai suatu usaha sistematis dalam perancangan desain dengan cara mengkondisikan beberapa faktor.

Menurut Iriawan (2006), secara umum tujuan desain eksperimen antara lain; pertama untuk menentukan variabel *input* (faktor) yang berpengaruh terhadap respon, kedua untuk menentukan variabel *input* yang membuat respon mendekati nilai yang diinginkan, ketiga untuk menentukan variabel *input* yang menyebabkan variasi respon kecil.

Pada tahun 1930, Dorian Shainin memperkenalkan sejumlah teknik desain eksperimen yang sederhana, mudah dipahami dan diaplikasikan, hemat biaya, kuat secara statistik, teknik desain tersebut adalah teknik klasik, taguchi, dan shainin/bothe.

2.11 Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi

Taguchi (2001) menyatakan bahwa metode taguchi merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya kualitas dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode tersebut adalah menjadikan produk tidak sensitif terhadap *noise*, sehingga disebut sebagai *robust design*.

Ross (1966) menjelaskan bahwa filosofi metode taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimkan deviasi dari target, produk harus didesain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
3. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standart tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh tahapan hidup produk.

Roy (2001) menjelaskan bahwa kelebihan metode taguchi dibandingkan dengan desain eksperimen yang lain, meliputi:

1. Metode taguchi lebih efisien karena memungkinkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



untuk melaksanakan percobaan yang melibatkan banyak faktor tetapi jumlah unit percobaan yang diperlukan relatif kecil.

2. Metode taguchi memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk lebih konsisten dan kurang sensitif (*robust*) terhadap variabilitas yang disebabkan oleh faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan (*noise*). Hal ini disebabkan karena *robust design* memperhatikan pengaruh faktor control dan faktor *noise* terhadap rata-rata variabilitas suatu performansi secara bersama-sama.
3. Metode taguchi menghasilkan kesimpulan mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap suatu respon dan kesimpulan mengenai taraf-taraf faktor terbaik yang akan menghasilkan respon yang optimum.

Metode taguchi (*robust design*) memberikan cara yang sistematis dan efisien dalam mengoptimisasikan performansi desain, kualitas dan biaya (Unal, 1991).

2.12 Rasio Signal Terhadap Noise (S/N Ratio)

Taguchi memperkenalkan pendekatan *S/N Ratio* guna meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang timbul. Tujuan utama perancangan parameter adalah menghasilkan kombinasi faktor-faktor kontrol yang tahan terhadap faktor *noise*, dalam artian tidak menimbulkan variabilitas yang besar.

Semakin besar nilai rasio S/N semakin baik kualitas dari produk tersebut (Mandal et al., 2011) terdapat 3 bentuk rasio S/N yang biasa digunakan:

1. *Nominal Is Best*, NIB dengan persamaan

$$SN_{sTB} = -10 \times \log_{10} \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (2.1)$$



2. *Smaller The Better*, STB dengan persamaan

$$SN_{STB} = -10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum y_i^2 \right) \quad (2.2)$$

3. *Larger The Better*, LTB dengan persamaan

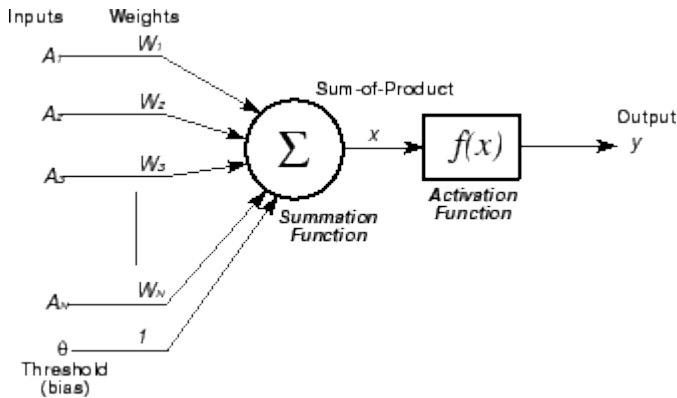
$$SN_{STB} = -10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.3)$$

Dimana n merupakan jumlah eksperimen, y_i merupakan hasil eksperimen sementara y and s adalah rata-rata dan deviasi pada semua pengamatan untuk setiap kombinasi.

2.13 Neural Network

Neural Network (NN) adalah suatu metode pembelajaran yang diinspirasi dari jaringan sistem pembelajaran biologis yang terjadi dari jaringan sel syaraf (*neuron*) yang terhubung satu dengan yang lainnya. Struktur NN yang digunakan adalah *Backpropagation* (BP) yang merupakan sebuah metode sistematis untuk pelatihan *multiplayer*. Metode ini memiliki dasar sistematis yang kuat, objektif dan algoritma ini mendapatkan bentuk persamaan dan nilai koefisien dalam formula dengan meminimalkan jumlah kuadrat galat error melalui model yang dikembangkan pada *training set* (Bilgil & Altun, 2008)

Pembuatan struktur jaringan saraf tiruan diilhami oleh struktur jaringan otak manusia. Dimana *neuron* adalah satuan unit pemroses terkecil pada otak, bentuk sederhana sebuah *neuron* yang oleh para ahli dianggap sebagai satuan unit pemroses. Pada tahun 1943, Mc.Culloch dan Pitts memperkenalkan model matematika yang merupakan penyederhanaan dari struktur sel saraf yang sebenarnya pada Gambar 2.8.



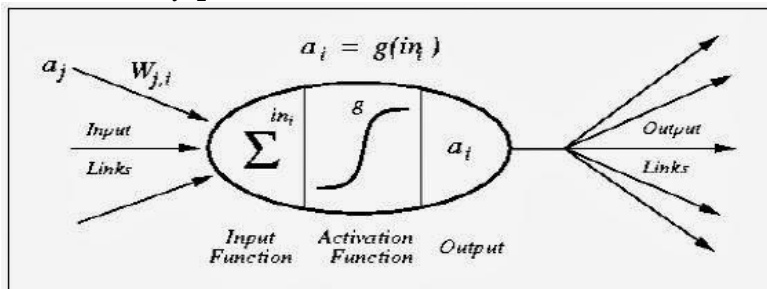
Gambar 2.8 *Mc.Culloch & Pitts Neuron Model (Kiyoshi,2000)*

Dari Gambar 2.8 memperlihatkan bahwa sebuah *neuron* memiliki tiga komponen yakni:

- Sinap (w_1, w_2, \dots, w_n)
- Alat penambah (*adder*)
- Fungsi aktivasi (f)

Dimana korelasi antara ketiga komponen ini dirumuskan pada persamaan 2.4

$$y = f \sum_{i=1}^n (x_i + w_i) \quad (2.4)$$



Gambar 2.9 *Model Tiruan Sebuah Neuron (Akbari,2014)*

Pada Gambar 2.9 menunjukkan model tiruan dari sebuah *neuron* dimana dewasa ini *neural network* telah diaplikasikan di berbagai bidang. Hal ini dikarenakan *neural network* memiliki kelebihan-kelebihan sebagai berikut:



1. Dapat memecahkan masalah *non-linear* yang umum dijumpai di aplikasi
2. Kemampuan memberikan jawaban terhadap *pattern* yang belum pernah diajari (*generalization*)
3. Dapat secara otomatis mempelajari data numerik yang diajarkan pada jaringan tersebut.

2.13.1 Algoritma *Backpropagation* (BP)

Algoritma *backpropagation* pada *neural network* (BPPN) merupakan metode sistematis untuk *training* (kalibrasi) pada *multilayer* jaringan syaraf atau *perceptron* berlapis banyak (*multilayer perceptron*). Lapisan (*layer*) pertama terdiri dari satu set *input* dan lapisan *output* terdapat lapisan di tengah yang juga dikenal dengan lapisan tersembunyi (*hidden layers*), dapat berjumlah satu, dua, tiga dan seterusnya. Dalam praktek, jumlah *hidden layers* terbanyak adalah tiga lapis. *Input layer* mempresentasikan variabel *input*, *hidden layer* mempresentasikan ketidaklinieran (*non-linearity*) dari sistem jaringan sedangkan *output layer* berisi variabel *output*. *Output* lapis terakhir dari *hidden layer* langsung dipakai sebagai output dari *neural network*.

Proses pelatihan BP memerlukan tiga tahapan, yaitu *feedforward* data *input* untuk pelatihan, *backpropagation* untuk nilai kesalahan (*error*) serta penyesuaian nilai bobot tiap *node* masing-masing *layer* pada ANN. Diawali dengan *feedforward* nilai *input*, tiap *input* unit ke- i (x_i) menerima sinyal *input* yang selanjutnya akan dipancarkan ke *hidden layer* z_1, \dots, z_p . Selanjutnya *hidden* unit ke- j akan menghitung nilai sinyal (z_j), yang akan dipancarkan ke *output layer*, menggunakan fungsi aktivasi f . Secara sederhana BPNN dijelaskan sebagai berikut, suatu pola *input* dimasukkan ke dalam sistem jaringan untuk menghasilkan *output*, yang kemudian dibandingkan dengan pola *output aktual*. Jika tidak terdapat perbedaan antara keluaran dari sistem jaringan dan aktualnya, maka pembelajaran tidak diperlukan. Dengan kata lain suatu bobot yang menunjukkan kontribusi *input* dari *node* ke *hidden node*, serta dari *hidden node*



ke *output*, dimana jika terjadi selisih (*error*) antara nilai *output* dari sistem jaringan dengan aktualnya, maka perbaikan bobot dilakukan secara mundur, yaitu dari *output* melewati *hidden node* dan kembali ke *input node*. Secara matematis dapat dijelaskan dalam algoritma *backpropagation* pada Persamaan 2.5.

$$z_{inj} = v_{oj} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (2.5)$$

Dimana

z_{inj} = nilai fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *output* di *hidden node j*

x_i = nilai di *input node*

v_{ij} = nilai bobot yang menghubungkan *input node i* dengan *hidden node j*.

v_{oj} = nilai bias yang menghubungkan bias *node i* dengan *hidden node j*.

n = jumlah *input node* pada *input layer*.

Dan sinyal *output* dari *hidden node j* diberikan fungsi aktivasi *sigmoid* sebagaimana Persamaan 2.6

$$z_i = f(z_{inf}) = \frac{1}{1 + e^{-z_{inf}}} \quad (2.6)$$

dimana z_i adalah sinyal *output* dari *hidden node j*. Sedangkan tiap unit *output* ke k (Y_{in}) yang ditunjukkan pada Persamaan 2.7

$$Y_{in} = w_{oj} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk} \quad (2.7)$$

Dan nilai fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *output*, sebagaimana Persamaan 2.8

$$Y = f(Y_{in}) = \frac{1}{1 + e^{-Y_{in}}} \quad (2.8)$$

Selama proses *training* berlangsung, tiap unit *output* membandingkan nilai target (T_m) untuk setiap *input pattern* guna menghitung nilai parameter yang akan memperbaiki (*update*) bobot nilai tiap unit dalam masing-masing *layer* (Hertz et al., 1991). *Node* pada *output layer* memiliki nilai antara 0-1.



2.13.2 Performa Model

Performa model digunakan untuk mengukur ketepatan dari model. Dalam penelitian ini, performa model yang digunakan adalah untuk mengetahui tingkat korespondensi antara data aktual dengan hasil peramalan digunakan tolok ukur koefisien korelasi, dengan rumusan pada Persamaan 2.9.

$$R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x \sum y}} \quad (2.9)$$

Pada rumus $x = X - \bar{X}$ dimana X adalah debit aktual dan \bar{X} adalah rata-rata nilai X sementara pada rumus $y = Y - \bar{Y}$, dimana Y adalah debit hasil simulasi atau peramalan dan \bar{Y} adalah rata-rata nilai Y . Nilai korelasi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai Koefisiensi Korelasi

Koefisien Korelasi (R^2)	Hubungan
1	Positif sempurna
$0,6 < R^2 < 1$	Langsung positif baik
$0 < R^2 < 0,6$	Langsung positif lemah
0	Tidak terdapat hubungan linear
$-0,6 < R^2 < 0$	Langsung negatif lemah
$-1 < R^2 < -0,6$	Langsung negatif kuat
-1	Negatif sempurna

(Soewarno,1995)

Nilai tengah kesalahan kuadrat (*Mean Square Error*, MSE) merupakan suatu ukuran ketepatan model dengan mengkuadratkan kesalahan untuk masing-masing poin data dalam sebuah susunan data dan kemudian memperoleh rata-rata atau nilai tengah jumlah kuadrat tersebut. Rumusan untuk MSE sebagaimana pada Persamaan 2.10.

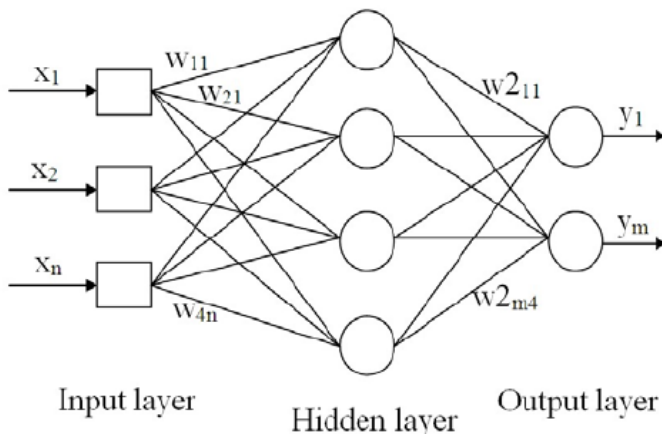
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{N} \quad (2.10)$$

Dimana y_i adalah nilai aktual data, \hat{y}_i adalah nilai hasil peramalan, N adalah jumlah data dan pengamatan serta e_i adalah kesalahan per-poin data. Kemudian digunakan prosedur umum menghitung kesalahan per-poin data, dimana untuk deret berkala

rumusan yang diikuti adalah data = pola + kesalahan untuk memudahkan kesalahan (*error*) ditulis dengan e , data dengan X dan pola data \bar{X} . Sebagai tambahan, *subscript* i ($i=1,2,3,\dots,n$) dicantumkan untuk menunjukkan point data ke- i , sehingga ditulis $e_i = X_i - \bar{X}$ jika hanya ingin diketahui besar kesalahan tanpa memperhatikan arah maka disebut dengan absolut *error* atau $e_i = |X_i - \bar{X}|$.

2.13.3 Multi Layer Network

Jaringan syaraf tiruan dengan memiliki lebih dari 1 lapisan yang terletak antara lapisan *input* dan lapisan *output* (memiliki lebih dari 1 *hidden layer*). Jaringan dengan banyak lapisan ini biasa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang sulit atau pembelajaran yang rumit. Struktur *multi layer network* ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Multi Layer Network (Khursiah,2013)

Berikut penjelasan mengenai lapisan pada *multi layer network*:

- *Input Layer*

Merupakan data yang kita masukan untuk diproses dalam pembelajaran jaringan syaraf tiruan. Banyak jumlah *node* pada *input layer* tergantung banyak data *input* yang kita masukkan ke dalam jaringan.



- *Hidden Layer*

Banyaknya *node* pada lapisan ini bervariasi sesuai berapa banyak *hidden layer* yang digunakan. Semakin banyak *hidden layer* yang digunakan maka akan semakin bagus juga hasil *output* yang dihasilkan, tetapi dengan banyaknya *hidden layer* yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk pembelajaran (*training*) akan menjadi lama. (Mitchell, 1997).

- *Output Layer*

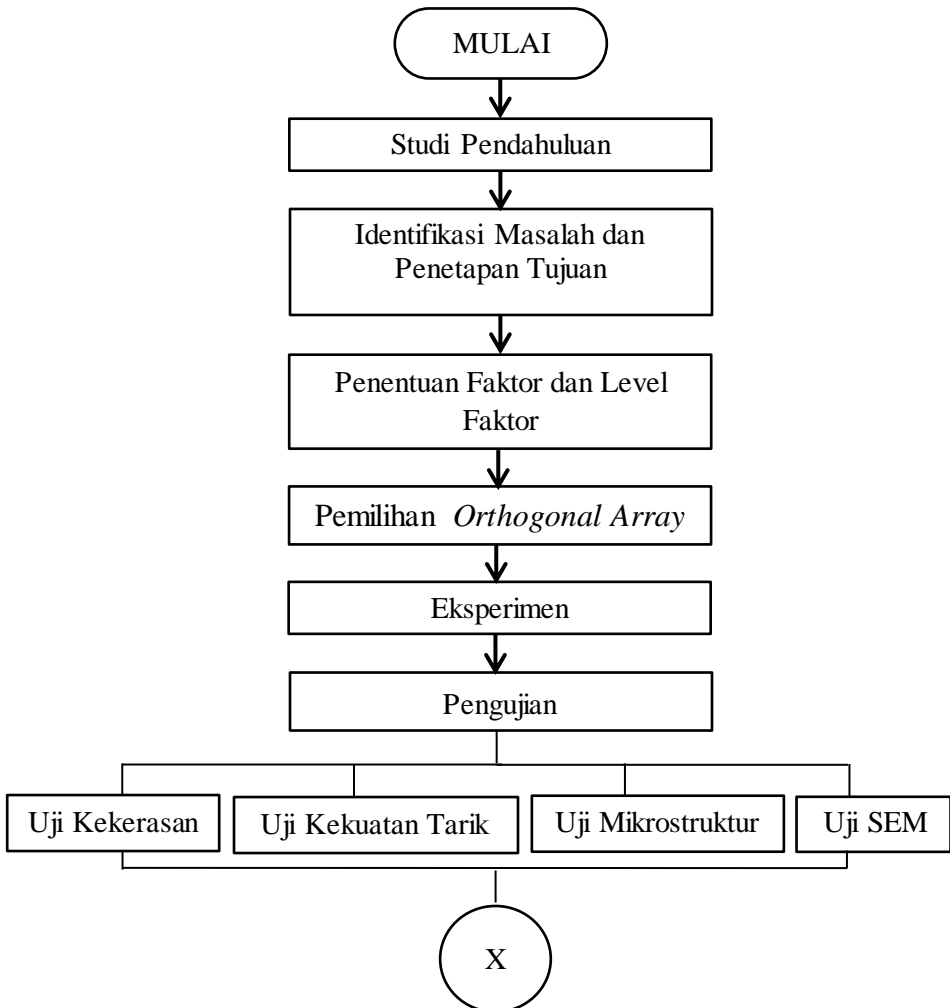
Banyaknya *node* pada lapisan *output* ini tergantung dari jaringan syaraf tiruan itu sendiri. Dimana sebelumnya kita telah memasukkan *input* dan *output* pada saat melakukan pembelajaran (*training*).

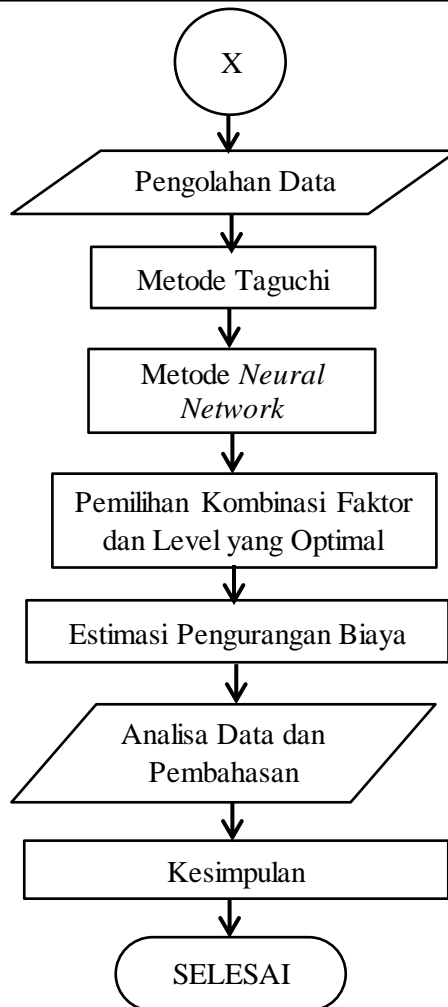
Adapun proses pembelajaran (*training*) dalam *neural network* terdiri dari *Forward*, *Backward*, dan *Update Bobot*. 1 kali *training* melewati tiga proses tersebut. Dimana proses ini akan dilakukan terus menerus. Namun, *training* harus dihentikan apabila kesalahan mulai naik. Ini berarti jaringan mulai mengambil sifat yang spesifik terjadi pada data *training*, dan bukan generalisasi dari sifat data (Siang,2005).



BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Rancangan Penelitian

Secara keseluruhan desain eksperimen dalam rancangan penelitian ini menggunakan metode taguchi. Pelaksanaan eksperimen sesuai dengan matriks *orthogonal array* L_9 , seperti yang ditunjukkan Tabel 3.1. Dimana A merupakan temperatur

BAB III METODOLOGI

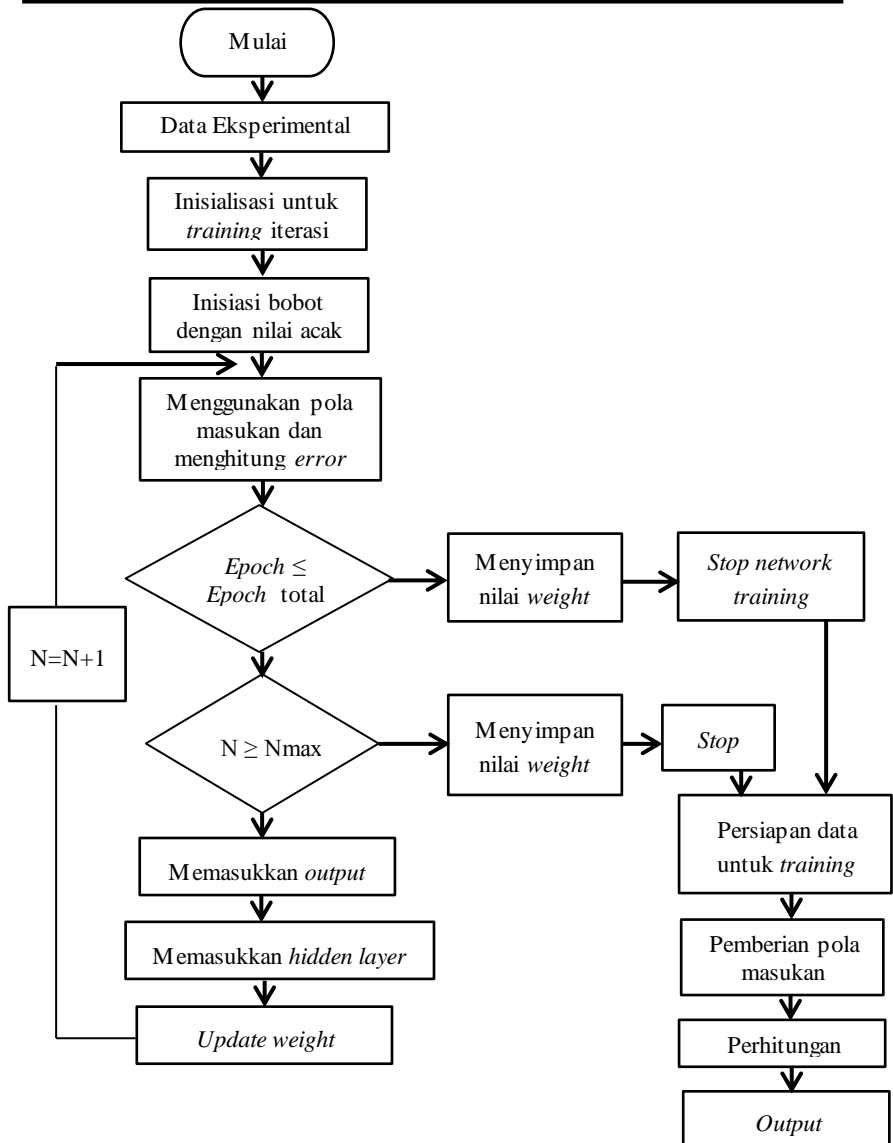


hardening, B merupakan waktu *hardening* dan C merupakan temperatur *tempering*.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Eksperimen	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Namun untuk mencari nilai optimasinya menggunakan dua metode yaitu metode taguchi dengan karakteristik *nominal is best*, dan metode *neural network*. Dalam proses metode Taguchi akan memberikan hasil variabel respon yang paling optimal dari setiap parameternya. Sedangkan dengan metode *neural network* akan memberikan hasil berupa pola yang kemudian pola ini digunakan untuk memprediksi nilai *output* (variabel respon) dari data *input* (parameter proses) yang dimasukkan. Adapun tahapan proses pembentukan arsitektur (model/pola) dan prediksi nilai respon dengan menggunakan *neural network* ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Proses Training Neural Network

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini di antaranya adalah studi lapangan, studi pustaka, dan pengujian. Berikut adalah penjelasan masing-masing metode:

1. Studi lapangan
Metode ini mencakup pencarian informasi mengenai proses *heat treatment* yang akan dioptimasi serta mengenai kualitas produk yang ingin dicapai.
2. Studi Pustaka
Metode ini mencakup pengumpulan materi yang diperoleh dari buku-buku, jurnal-jurnal penelitian dan referensi industri mengenai proses *heat treatment*.
3. Pengujian
Metode ini mencakup pengujian-pengujian yang dilakukan di laboratorium untuk mendukung proses analisa sesuai dengan metode yang ada. Pengujian-pengujian tersebut diantaranya adalah pengujian kekerasan, pengujian tarik serta pengujian metalografi dan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

3.4 Material

Material uji yang digunakan sebagai bahan penelitian ini adalah produk *fastener* yang berasal dari *raw material* SWRCH 45K seperti yang terdapat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Fastener* SWRCH 45K



Berdasarkan uji komposisi kimia yang telah dilakukan didapatkan hasil uji seperti yang tercantum pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Material SWRCH 45K

Komposisi Kimia (%)				
C	Si	Mn	P	S
0.422	0.211	0.741	0.0152	0.0059

3.5 Peralatan dan Bahan

a. Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin *Heat Treatment*
2. Kamera Digital
3. Mesin *Polish*
4. Mikroskop Optik
5. Mesin Uji Kekerasan
6. Mesin Uji Tarik
7. Mesin Uji SEM

b. Bahan – bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kertas gosok *Grade 80* sampai 2000
2. Alumina Cair
3. Larutan Nital

3.6 Tahapan Penelitian

3.6.1 Pengumpulan Data

Tahapan ini dilakukan dengan menghimpun semua data yang berkaitan tentang proses *heat treatment*. Data-data tersebut berupa komposisi *raw material*, parameter-parameter proses *heat treatment*, kualifikasi sifat fisik dan mekanik produk *fastener* yang diinginkan dan lain sebagainya. Dimana data-data tersebut akan mendukung upaya analisa optimasi proses *heat treatment* yang akan dilakukan.



3.6.2 Penentuan Faktor dan Level Faktor

Adapun variabel-variabel yang diteliti dibagi menjadi variabel bebas dan variabel tidak bebas, sebagai berikut:

- Variabel bebas dalam penelitian ini berupa temperatur *hardening*, waktu tahan *hardening* dan temperatur *tempering*
- Variabel tak bebas dalam penelitian ini berupa kekerasan produk *fastener* dengan material SWCH 45K, dimana untuk kekerasan berdasarkan standard HES D3211-99A, rentang kekerasan berada pada 22-32 HRC untuk itu pada penelitian ini nilai kekerasan yang mendekati 27 HRC merupakan kekerasan yang paling baik (*Nominal is Best*).

Berdasarkan studi lapangan dan diskusi yang telah dilakukan, pada Tabel 3.3 tercantum faktor terkontrol yang diteliti.

Tabel 3.3 Faktor Terkontrol

No	Faktor Terkontrol
1	Temperatur <i>Hardening</i>
2	Waktu Tahan <i>Hardening</i>
3	Temperatur <i>Tempering</i>

Faktor gangguan yang ada dalam penelitian ini berupa sumber daya, kemacetan pada mesin dan lain sebagainya serta faktor *human error* yang tidak diteliti atau diabaikan. Pada Tabel 3.4 terdapat jumlah level dan nilai pada setiap level yang diteliti berdasarkan studi lapangan, diskusi dan kemampuan mesin *heat treatment*.



Tabel 3.4 Level dan Nilai Level Faktor

Kode	Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Temperatur <i>Hardening</i>	800;820;820;830°C	30 menit	490;510;510°C
B	Waktu Tahan <i>Hardening</i>	820;840;840;850°C	45 menit	510;530;530°C
C	Temperatur <i>Tempering</i>	840;860;860;870°C	60 menit	530;550;550°C

3.6.3 Pemilihan Matriks *Orthogonal Array*

Perhitungan derajat bebas faktor yang diamati adalah sebagai berikut :

$$V_{fl} = (\text{Jumlah level}) - 1$$

Dalam hal ini faktor-faktor yang diamati adalah sebagai berikut:

Faktor A (Temperatur *Hardening*) = 3 level

Faktor B (Waktu Tahan *Hardening*) = 3 level

Faktor C (Temperatur *Tempering*) = 3 level

Sehingga pada Tabel 3.5 tercantum perhitungan derajat bebas dari setiap faktor dan derajat bebas total penelitian. Didapatkan nilai derajat bebas total adalah 6

Tabel 3.5 Derajat Bebas Faktor

Faktor	Derajat Bebas
A	$3 - 1 = 2$
B	$3 - 1 = 2$
C	$3 - 1 = 2$
Total	6

Matriks orthogonal standard dengan 3 level memiliki beberapa pilihan matriks yakni $L_9 (3^4)$, $L_{27} (3^{13})$ dan $L_{81} (3^{40})$ (Soejanto, 2009).

Untuk memilih matriks yang sesuai dengan percobaan yakni sebagai berikut:

a. Perhitungan untuk $L_9(3^4)$

Perhitungan untuk derajat bebas $L_9(3^4)$ adalah:

BAB III METODOLOGI



Derajat bebas = (jumlah faktor) x (jumlah level-1) = 4 x (3-1) = 8

Karena derajat bebas pada $L_9(3^4)$ lebih banyak dari pada derajat bebas percobaan dan perbedaan nilai derajat bebas yang tidak terlalu besar maka matriks *orthogonal array* $L_9(3^4)$ telah sesuai dan mencukupi untuk digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan matriks *orthogonal* $L_9(3^4)$ penelitian ini akan dilaksanakan sebanyak 9 eksperimen.

b. Perhitungan untuk $L_{27}(3^{13})$

Perhitungan untuk derajat bebas $L_{27}(3^{13})$ adalah:

Derajat bebas = (jumlah faktor) x (jumlah level-1) = 13 x (3-1) = 26

Karena banyaknya derajat bebas pada $L_{27}(3^{13})$ lebih dari derajat bebas pada saat penelitian, maka matriks *orthogonal array* tersebut dapat digunakan. Namun dengan menggunakan $L_{27}(3^{13})$ penelitian akan dilakukan sebanyak 27 percobaan dan hal ini kurang efisien karena banyaknya percobaan yang dilakukan dan banyaknya biaya percobaan yang dikeluarkan.

c. Perhitungan untuk $L_{81}(3^{40})$

Perhitungan derajat bebas $L_{81}(3^{40})$ adalah :

Derajat bebas = (jumlah faktor) x (jumlah level -1) = 40 x (3-1) = 80

Karena banyaknya derajat bebas pada $L_{81}(3^{40})$ lebih dari derajat bebas pada saat percobaan, maka matriks *orthogonal array* tersebut dapat digunakan. Namun dengan menggunakan $L_{81}(3^{40})$ percobaan akan dilakukan sebanyak 81 percobaan dan hal ini kurang efisien karena banyaknya percobaan yang dilakukan dan banyaknya biaya percobaan yang dikeluarkan.

Penempatan faktor pada matriks *orthogonal array* dapat dilakukan dengan menggunakan aturan untuk mengisi kolom-kolom pada matriks $L_9(3^4)$ adalah sebagai berikut: (Park, 1996)

1. Kolom 1 dan kolom 2 merupakan kolom pokok yang berisi

Kolom 1 merupakan kolom pertama pada kolom faktor matriks *orthogonal*. Kolom 2 merupakan kolom kedua pada kolom faktor matriks *orthogonal*.



$$\text{Kolom 1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{bmatrix} \quad \text{Kolom 2} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$$

2. Kolom 3 berisi : (kolom 1 + kolom 2) (mod 3)

Kolom 3 merupakan kolom ketiga pada kolom faktor matriks orthogonal. Menggunakan mod 3 karena pada percobaan menggunakan 3 taraf pada masing-masing faktor.

$$\text{Kolom 3} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} \pmod{3} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 3 \\ 3 \\ 2 \end{bmatrix}$$

Sehingga berdasarkan penempatan kolom untuk faktor tersebut, maka pada penelitian ini dengan matriks *orthogonal array* L₉ memiliki desain eksperimen seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6



Tabel 3.6 Matriks *Orthogonal Array* L₉

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Keterangan :

- Eksperimen 1 dilakukan dengan temperatur *hardening* pada 800; 820; 820; 830°C ditahan selama 30 menit dan dilanjutkan *tempering* pada 490; 510; 510°C.
- Eksperimen 2 dilakukan dengan temperatur *hardening* pada 800; 820; 820; 830°C ditahan selama 45 menit dan dilanjutkan *tempering* pada 510; 530; 530°C.
- Eksperimen 3 dilakukan dengan temperatur *hardening* pada 800; 820; 820; 830°C ditahan selama 60 menit dan dilanjutkan *tempering* pada 530; 550; 550°C.
- Eksperimen 4 dilakukan dengan temperatur *hardening* pada 820; 840; 840; 850°C ditahan selama 30 menit dan dilanjutkan *tempering* pada 510; 530; 530°C.
- Eksperimen 5 dilakukan dengan temperatur *hardening* pada 820; 840; 840; 850°C ditahan selama 45 menit dan dilanjutkan *tempering* pada 530; 550; 550°C.
- Eksperimen 6 dilakukan dengan temperatur *hardening* pada 820; 840; 840; 850°C ditahan selama 60 menit dan dilanjutkan *tempering* pada 490; 510; 510°C.



- g. Eksperimen 7 dilakukan dengan temperatur *hardening* pada 840; 860; 860; 870°C ditahan selama 30 menit dilanjutkan *tempering* pada 530; 550; 550°C.
- h. Eksperimen 8 dilakukan dengan temperatur *hardening* pada 840; 860; 860; 870°C ditahan selama 45 menit dan dilanjutkan *tempering* pada 490; 510; 510°C.
- i. Eksperimen 9 dilakukan dengan temperatur *hardening* pada 840; 860; 860; 870°C ditahan selama 90 menit dan dilanjutkan *tempering* pada 510; 530; 530°C.

3.6.4 Eksperimen

Dari desain yang telah dibuat akan dilaksanakan dalam bentuk eksperimen yang kemudian data nya akan diolah untuk mengetahui kombinasi level yang tepat untuk proses *heat treatment* produk *fastener*.

3.6.5 Pengujian

Adapun pengujian yang akan dilakukan berupa :

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan produk hasil *heat treatment*. Pengujian kekerasan akan dilakukan di tiga titik. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Rockwell* dan *Microhardness Vickers*. Adapun indenter yang digunakan adalah dengan menggunakan indenter bola baja pada metode *Rockwell* dan menggunakan piramida intan pada *Microhardness Vickers*.

b. Pengujian Mikrostruktur

Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pengamatan pada struktur mikro spesimen dan selanjutnya dilakukan analisa fasa struktur mikro tersebut. Pengujian ini menggunakan mikroskop optik *Olympus BX51M*.

c. Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik yang dimiliki oleh produk *fastener* setelah melalui proses *heat treatment*. Pengujian ini untuk memastikan produk *fastener* telah memiliki kekuatan tarik sesuai dengan standar.



d. Pengujian *Scanning Elctron Microscope* (SEM)

Pengujian dengan menggunakan mesin *Scanning Electron Microscope* (SEM) bertujuan untuk mengetahui fasa produk *fastener*.

3.6.6 Pengolahan Data dengan Metode Taguchi

Dalam pengolahan data dengan metode taguchi dilakukan beberapa perhitungan, diantaranya adalah *S/N ratio*, *Analysis of Variance*, persen kontribusi dan perhitungan faktor optimal. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software* Minitab 16.

3.6.7 Pengolahan Data dengan Metode Neural Network

Pembuatan arsitek dan prediksi nilai optimasi dengan *software* Matlab R2013a dengan *tools Neural Network*. Langkah-langkah dalam melakukan pengolahan data ini dijelaskan sebagai berikut:

a. *Preposesing*/Normalisasi

Pada proses perkiraan menggunakan *Backpropagation Neural Network*, sebelum dilakukan pelatihan, data *input* dan target *output* harus dinormalisasi terlebih dahulu. Normalisasi adalah penskalaan terhadap nilai-nilai masuk ke dalam suatu *range* tertentu. Hal ini dilakukan agar *input* dan target *output* sesuai dengan *range* dari fungsi aktivasi yang digunakan dalam jaringan. Data *input* dan target *output* dinormalisasi dengan cara membawa data ke bentuk normal yang memiliki *mean* = 0 dan standar deviasi = 1, berdasarkan Persamaan 3.1.

$$X_i = \frac{X_{real} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3.1)$$

Dimana,

X_i = nilai setelah dinormalisasi

X_{real} = nilai yang akan dinormalisasi

X_{min} = nilai respon minimum

X_{max} = nilai respon optimum



b. Pemilihan Variabel *Input*

Proses pemilihan variabel *input* dan *output* ini dilakukan dengan menggunakan eliminasi *backward* dan fungsi biaya *mean square error* (MSE) serta *mean absolute percentage error* (MAPE). Pemilihan variabel dilakukan dengan mengeliminasi variabel yang tidak berguna dan mempertahankan variabel-variabel yang memberikan nilai korelasi yang cukup signifikan terhadap variabel *output*.

c. Perancangan Struktur Jaringan yang Optimum

Langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah lapisan *input*, lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan *output*. Jumlah lapisan *input* berdasarkan pada banyaknya data yang mempengaruhi perkiraan. Sedangkan banyaknya lapisan *output* adalah berdasarkan hasil *output* perkiraan yang dicari.

d. Pemilihan Koefisien Pemahaman (*Learning Rate*) dan *Momentum*

Koefisien pemahaman pada *neural network* adalah *learning rate* atau laju pembelajaran. Besarnya *learning rate* akan berimplikasi pada besarnya langkah pembelajaran. *Momentum* dalam *neural network* adalah perubahan bobot yang didasarkan pada arah *gradient* pola terakhir dan pola sebelumnya. Pada pembangunan jaringan *Backpropagation* yang akan digunakan dalam perkiraan, hasil keputusan yang kurang memuaskan dapat diperbaiki dengan menggunakan *learning rate* dan *momentum* pada arah *gradient* pola terakhir dan pola sebelumnya. Pada pembangunan jaringan *Backpropagation* yang akan digunakan dalam perkiraan, hasil keputusan yang kurang memuaskan dapat diperbaiki dengan menggunakan *learning rate* dan *momentum* secara *trial* dan *error* untuk mendapatkan nilai bobot yang optimum agar MSE dan MAPE jaringan dapat diperbaiki.



e. Pemilihan Struktur Jaringan yang Optimum dan Penggunaanya untuk Prediksi

Langkah-langkah pemilihan jaringan yang optimum dijelaskan sebagai berikut:

- Proses pelatihan dilakukan terhadap data pelatihan dengan adanya simpul tersembunyi berbeda dengan yang akan diperoleh dari nilai *output*. Nilai MSE dan MAPE dihitung. Jaringan yang memiliki nilai MSE dan MAPE terendah dipilih sebagai jaringan yang optimum dan digunakan untuk perkiraan.
- Setelah proses pelatihan dilakukan proses pengujian dengan struktur jaringan yang memiliki bilangan simpul tersembunyi berbeda yang telah dilatih akan diperoleh nilai *output* jaringan. Nilai MSE dan MAPE dari masing-masing struktur jaringan dihitung. Proses pengujian digunakan untuk menguji prestasi pelatihan dan sebagai pendukung bahwa jaringan terpilih sebagai jaringan yang tepat untuk model peramalan.
- Proses validasi dilakukan dengan menggunakan jaringan terpilih terhadap data validasi untuk melihat prestasi ramalannya.

f. *Postprocessing*/ Denormalisasi

Setelah proses pelatihan dan pengujian selesai, untuk mengembalikan nilai ternormalisasi jaringan ke nilai sebenarnya, dilakukan proses denormalisasi atau *postprocessing*.

3.6.8 Estimasi Pengurangan Biaya

Tahapan ini dilakukan untuk perhitungan estimasi pengurangan biaya yang bisa didapatkan, dengan membandingkan total biaya produksi antara level optimum dan level regular.



3.6.9 Analisa Data dan Pembahasan

Pada tahap ini hasil pengolahan data akan dianalisa dan diinterpretasikan guna menjawab tujuan dalam pelaksanaan penelitian. Apabila terdapat perbedaan antara dugaan dan hasil akan menjadi suatu pembahasan.

3.6.10 Kesimpulan

Tahap akhir dari penelitian merupakan penarikan kesimpulan. Kesimpulan terkait dengan kombinasi level faktor yang tepat untuk proses *heat treatment* yang optimal sehingga dapat mengurangi biaya produksi.



BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Eksperimen dilakukan berdasarkan desain eksperimen yang telah ditentukan. Adapun jumlah *load* pada setiap eksperimen yakni 10% dari *mass production*, hal ini dilakukan agar eksperimen dapat mewakili *load* pada proses produksi yang dilakukan pada setiap harinya. Jumlah produksi normal per *load* adalah ± 1 ton, sehingga jumlah *load* pada setiap eksperimen yakni $10\% \times \pm 1 \text{ ton} = \pm 100 \text{ kg}$. Setelah eksperimen dilakukan, maka diambil 3 sampel acak untuk dilakukan pengujian yakni pengujian mikrostruktur, pengujian *tensile test*, dan pengujian kekerasan. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap hasil dari eksperimen memenuhi standard HES D3211-99A sehingga dapat dilanjutkan ke proses analisa data. Berikut merupakan hasil pengujian pada setiap eksperimen:

4.1.1 Hasil Pengujian Eksperimen 1

Secara keseluruhan untuk pengujian sampel eksperimen 1 dalam kondisi yang baik dan memenuhi standard HES D3211-99A berikut rincian hasil pengujian eksperimen 1:

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian *body fastener* yakni untuk bagian *core* dan *surface*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Rockwel* selain itu juga digunakan pengujian *Vickers Microhardness Test* untuk mengetahui profil kekerasan pada permukaan produk *fastener*.

Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *core* dari *body fastener*, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh sebesar 30.6 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 2.7. Sementara pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *surface* dari *body fastener* dengan nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh 243 HV. Rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 5.



Tabel 4.1 Core Hardness Area Body Eksperimen 1

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata - rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	28.9	32.0	30.2	30.6	2.7
	22-32	29.7	32.0	30.6		
	(HRC)	29.3	32.0	31.0		
	Rata-rata	29.3	32.0	30.6		

Tabel 4.2 Surface Hardness Area Body Eksperimen 1

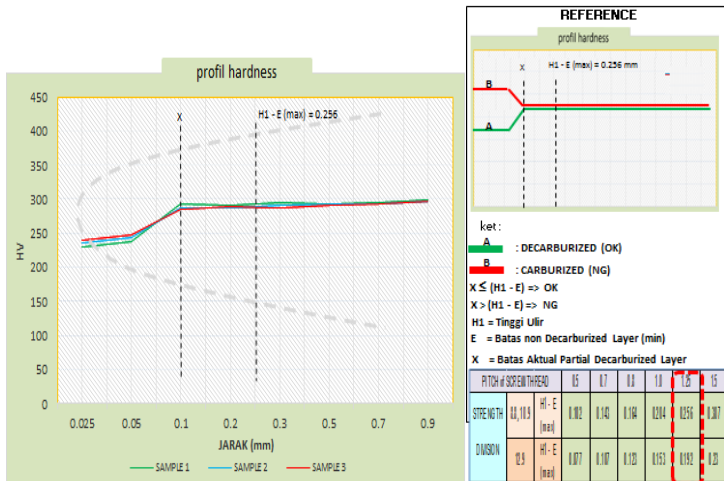
SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	256	240	248	243	5
	318 Max	238	247	243		
	(HV)	243	234	238		
	Rata-rata	246	240	243		

Untuk hasil uji *Vickers Microhardness* pada permukaan produk *fastener* ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji *Vickers Microhardness* Eksperimen 1

SAMPLE	JARAK UJI (mm)							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
1	230	238	294	292	295	294	295	300
2	236	244	287	287	291	293	294	297
3	240	247	285	290	287	291	293	298
X	235	243	289	290	291	293	294	298
R	3	5	4	4	6	6	8	7

Dari data uji pada Tabel 4.3, maka didapatkan profil kekerasan sebagai berikut:



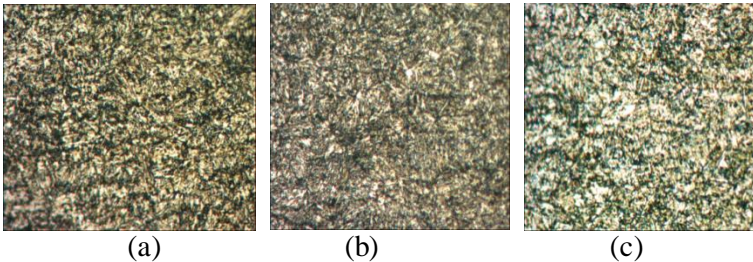
Gambar 4.1 Profil Kekerasan Produk *Fastener* Eksperimen 1

Berdasarkan Gambar 4.1 mengenai profil kekerasan produk *fastener* eksperimen 1, tidak menunjukkan adanya *carburized layer*, sehingga secara *Vickers Microhardness Test* dinyatakan sesuai dengan standard HES D3211-99A.

Maka secara keseluruhan untuk pengujian kekerasan, sample pada eksperimen 1 telah memenuhi standard HES D3211-99A.

b. Pengujian Mikrostruktur

Hasil uji mikrostruktur dilakukan pada sample eksperimen 1 terdapat pada gambar 4.2, dimana berdasarkan standard yang berlaku mikrostruktur dari sampel pada bagian *body* harus sepenuhnya berupa *tempered martensite*.

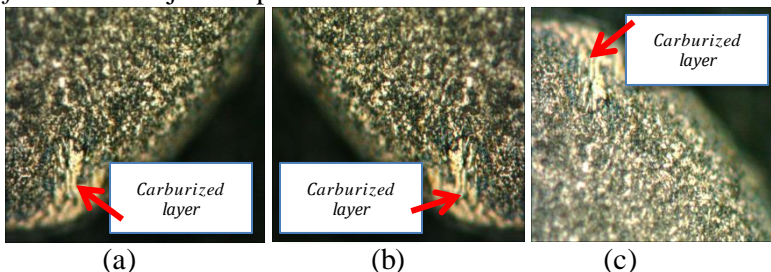


Gambar 4.2 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Eksperimen 1 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3

Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 4.2, terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *tempered martensite*. Fasa ini umumnya terbentuk pada proses *heat treatment* baja dan memiliki sifat mekanik yang lebih tangguh (*toughness*) dibandingkan dengan fasa *untempered martensite* yang lebih getas. Sehingga secara mikrostruktur pada bagian *body* produk *fastener* dinyatakan sesuai dengan standard.

c. Pengamatan Decarburisasi Ulir

Bedasarkan standard HES D3211-99A, pada ulir apabila terdapat *ferrite* kedalaman yang diperbolehkan yakni 15 μm selain itu *heigh of part not decarburized* min 2/3 H1 dimana H1 bedasarkan standar yakni 0.767 mm. Hasil uji mikrostruktur ulir *fastener* ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 1 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3



Berdasarkan pengamatan decarburisasi ulir pada Gambar 4.3 untuk ketiga sampel terlihat *height of part not decarburized* namun setelah melakukan perhitungan bagian tersebut seluas 0.0354 mm, sehingga bila dikurangi dengan tinggi ulir didapat $0.767 - 0.0354 = 0.7316$ mm hal ini masih memenuhi standard HES D3211- 99A yakni min 2/3 dari 0.767 atau senilai 0.5113 mm. Adanya *height of part not decarburized* disebabkan karena waktu tahan yang singkat yakni 30 menit dan temperatur *hardening* dan *tempering* yang rendah. Selain itu, dari pengamatan tidak ada fasa *ferrite*. Sehingga untuk decarburisasi ulir sample eksperimen 1 dinyatakan sesuai dengan standard.

d. Pengujian *Tensile Test*

Hasil dari pengujian *tensile test* yang dilakukan pada dua sampel eksperimen 1 yang diambil secara acak ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Tensile Test* Eksperimen 1

Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
Sampel 1	47.539	4486.0	87.60	94.36
Sampel 2	47.539	4486.0	87.86	94.55

Berdasarkan HES D3211-99A nilai *tensile strength* berada pada rentang 80 – 100 kgf/mm², sehingga hasil pengujian kedua sampel untuk eksperimen 1 memenuhi standard tersebut.

4.1.2 Hasil Pengujian Eksperimen 2

Secara keseluruhan untuk pengujian sampel eksperimen 2 dalam kondisi yang baik dan memenuhi standard HES D3211- 99A berikut rincian hasil pengujian eksperimen 2:

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian *body fastener* yakni untuk bagian *core* dan *surface*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Rockwell* selain itu juga digunakan



pengujian *Vickers Microhardness Test* untuk mengetahui profil kekerasan pada permukaan produk *fastener*.

Pada Tabel 4.5 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *core* dari *body fastener*, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh sebesar 27.6 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 0.9. Sementara pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *surface* dari *body fastener* dengan nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh 232 HV. Rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 4.

Tabel 4.5 *Core Hardness Area Body* Eksperimen 2

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	26.6	26.0	28.0	27.6	0.9
	22-32	27.8	27.4	28.0		
	(HRC)	27.3	28.5	28.5		
	Rata - rata	27.2	27.3	28.2		

Tabel 4.6 *Surface Hardness Area Body* Eksperimen 2

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	236	236	235	232	4
	318 Max	227	232	230		
	(HV)	238	232	223		
	Rata-rata	234	233	229		

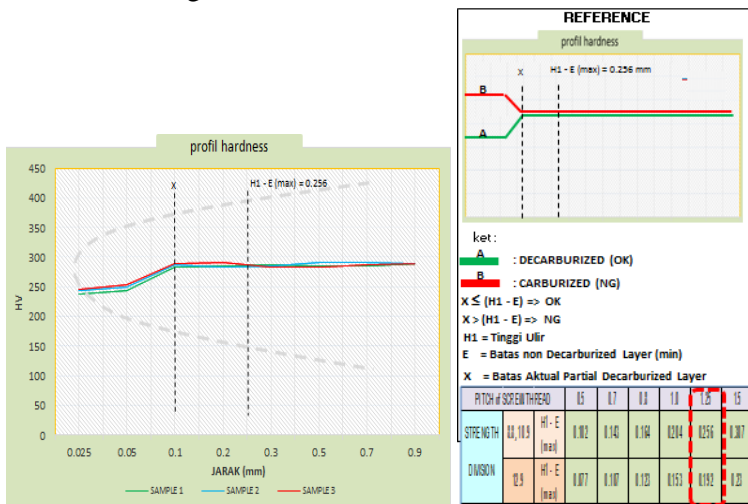
Untuk hasil uji *Vickers Microhardness* pada permukaan produk *fastener* ditunjukkan pada Tabel 4.7.



Tabel 4.7 Hasil Uji *Vickers Microhardness* Eksperimen 2

SAMPLE	JARAK UJI (mm)							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
1	238	243	284	285	287	285	286	290
2	243	250	287	283	286	291	292	289
3	245	254	290	291	283	294	287	290
X	242	249	287	286	285	290	288	290
R	3	5	4	4	6	6	8	7

Dari data uji pada Tabel 4.7, maka didapatkan profil kekerasan sebagai berikut:



Gambar 4.4 Profil Kekerasan Produk *Fastener* Eksperimen 2

Berdasarkan Gambar 4.4 mengenai profil kekerasan produk *fastener* eksperimen 2, tidak menunjukkan adanya *carburized layer*, sehingga secara *Vickers Microhardness Test* dinyatakan sesuai dengan standard HES D3211-99A.

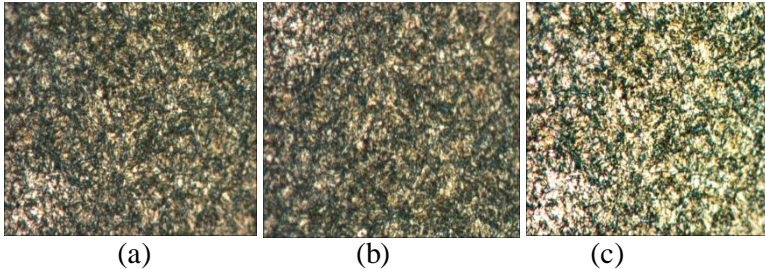
Maka secara keseluruhan untuk pengujian kekerasan, sample pada eksperimen 2 telah memenuhi standard HES D3211-99A.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



b. Pengujian Mikrostruktur

Hasil uji mikrostruktur dilakukan pada sample eksperimen 2 terdapat pada Gambar 4.5, dimana berdasarkan standard yang berlaku mikrostruktur dari sampel pada bagian *body* harus sepenuhnya berupa *tempered martensite*.

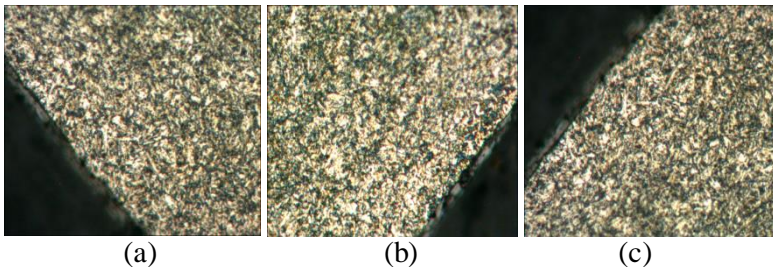


Gambar 4.5 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Eksperimen 2
Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c)
sample 3

Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 4.5, terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *tempered martensite*. Fasa ini umumnya terbentuk pada proses *heat treatment* baja dan memiliki sifat mekanik yang lebih tangguh (*toughness*) dibandingkan dengan fasa *untempered martensite* yang lebih getas. Sehingga secara mikrostruktur pada bagian *body* produk *fastener* dinyatakan sesuai dengan standard

c. Pengamatan Decarburisasi Ulir

Berdasarkan standard HES D3211-99A, pada ulir apabila terdapat *ferrite* kedalaman yang diperbolehkan yakni 15 μm selain itu *heigh of part not decarburized* min 2/3 H1 dimana H1 berdasarkan standar yakni 0.767 mm. Hasil uji mikrostruktur ulir ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 2 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

Berdasarkan pengamatan decarburisasi ulir pada Gambar 4.6, pada ketiga sample tidak terdapat *height of part not decarburized*, keseluruhan ulir telah terdecaburisasi secara sempurna. Selain itu pula dari pengamatan tidak ada fasa *ferrite*. Sehingga untuk decarburisasi ulir sample eksperimen 2 dinyatakan sesuai dengan standard.

d. Pengujian *Tensile Test*

Hasil dari pengujian *tensile test* yang dilakukan pada dua sampel eksperimen 2 yang diambil secara acak ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian *Tensile Test* Eksperimen 2

Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
Sampel 1	47.417	4179.4	81.84	88.14
Sampel 2	47.417	4179.4	82.16	88.32

Berdasarkan HES D3211-99A nilai *tensile strength* berada pada rentang 80 – 100 kgf/mm², sehingga hasil pengujian kedua sampel untuk eksperimen 2 memenuhi standard tersebut.



4.1.3 Hasil Pengujian Eksperimen 3

Secara keseluruhan untuk pengujian sampel eksperimen 3 dalam kondisi yang baik dan memenuhi standard HES D3211-99A berikut rincian hasil pengujian eksperimen 3:

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian *body fastener* yakni untuk bagian *core* dan *surface*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Rockwell* selain itu juga digunakan pengujian *Vickers Microhardness Test* untuk mengetahui profil kekerasan pada permukaan produk *fastener*.

Pada Tabel 4.9 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *core* dari *body fastener*, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh sebesar 26 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 0.9. Sementara pada Tabel 4.10 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *surface* dari *body fastener* dengan nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh 217 HV. Rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 3.

Tabel 4.9 Core Hardness Area Body Eksperimen 3

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division 8.8</i>	25.1	26.0	25.7	26.0	0.7
	22-32	25.6	26.7	25.9		
	(HRC)	26.0	26.2	26.5		
	Rata-rata	25.6	26.3	26.0		

Tabel 4.10 Surface Hardness Area Body Eksperimen 3

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division 8.8</i>	226	225	214	217	3
	318 Max	208	206	223		
	(HV)	221	224	208		
	AVERAGE	218	218	215		

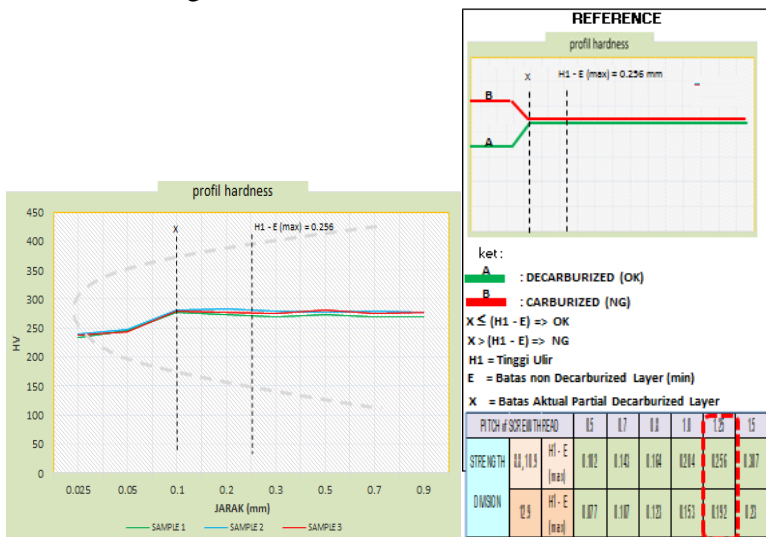
Untuk hasil uji *Vickers Microhardness* pada permukaan produk *fastener* ditunjukkan pada Tabel 4.11.



Tabel 4.11 Hasil Uji *Vickers Microhardness* Eksperimen 3

SAMPLE	JARAK UJI (mm)							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
1	234	245	277	273	270	273	270	270
2	240	247	281	283	279	277	280	278
3	237	244	280	277	276	281	275	277
X	237	245	279	278	275	277	275	275
R	3	5	4	4	6	6	8	7

Dari data uji pada Tabel 4.11, maka didapatkan profil kekerasan sebagai berikut:



Gambar 4.7 Profil Kekerasan Produk *Fastener* Eksperimen 3

Berdasarkan Gambar 4.7 mengenai profil kekerasan produk *fastener* eksperimen 3, tidak menunjukkan adanya *carburized layer*, sehingga secara *Vickers Microhardness Test* dinyatakan sesuai dengan standard HES D3211-99A.

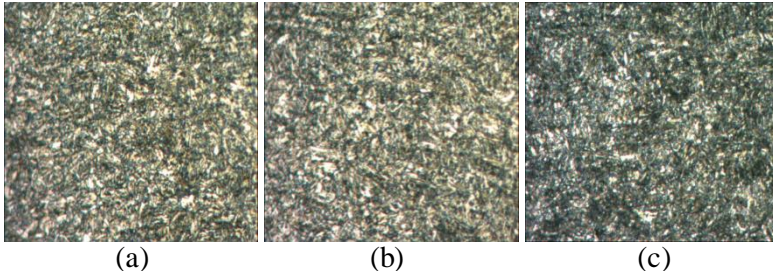
Maka secara keseluruhan untuk pengujian kekerasan, sample pada eksperimen 3 telah memenuhi standard HES D3211-99A.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



b. Pengujian Mikrostruktur

Hasil uji mikrostruktur dilakukan pada sample eksperimen 3 terdapat pada Gambar 4.8, dimana berdasarkan standard yang berlaku mikrostruktur dari sampel pada bagian *body* harus sepenuhnya berupa *tempered martensite*.

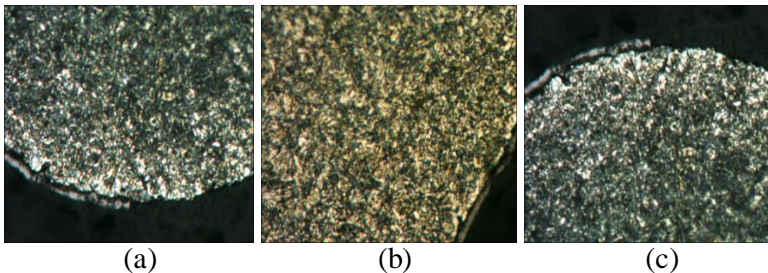


Gambar 4.8 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Eksperimen 3 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3

Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 4.8, terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *tempered martensite*. Fasa ini umumnya terbentuk pada proses *heat treatment* baja dan memiliki sifat mekanik yang lebih tangguh (*toughness*) dibandingkan dengan fasa *untempered martensite* yang lebih getas. Sehingga secara mikrostruktur pada bagian *body* produk *fastener* dinyatakan sesuai dengan standard

e. Pengamatan Decarburisasi Ulir

Berdasarkan standard HES D3211-99A, pada ulir apabila terdapat *ferrite* kedalaman yang diperbolehkan yakni 15 μm selain itu *heigh of part not decarburized* min 2/3 H1 dimana H1 berdasarkan standar yakni 0.767 mm. Hasil uji mikrostruktur ulir ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 3 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

Berdasarkan pengamatan decarburisasi ulir pada Gambar 4.9, pada ketiga sample tidak terdapat *height of part not decarburized*, keseluruhan ulir telah terdecaburisasi secara sempurna. Selain itu pula dari pengamatan tidak ada fasa *ferrite*. Sehingga untuk decarburisasi ulir sample eksperimen 3 dinyatakan sesuai dengan standard.

f. Pengujian *Tensile Test*

Hasil dari pengujian *tensile test* yang dilakukan pada dua sampel eksperimen 3 yang diambil secara acak ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian *Tensile Test* Eksperimen 3

Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
Sampel 1	47.417	3989.2	77.18	84.13
Sampel 2	47.417	3904.6	76.11	82.35

Bedasarkan HES D3211-99A nilai *tensile strength* berada pada rentang 80 – 100 kgf/mm², sehingga hasil pengujian kedua sampel untuk eksperimen 3 memenuhi standard tersebut.



4.1.4 Hasil Pengujian Eksperimen 4

Secara keseluruhan untuk pengujian sampel eksperimen 4 dalam kondisi yang baik dan memenuhi standard HES D3211-99A berikut rincian hasil pengujian eksperimen 4:

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian *body fastener* yakni untuk bagian *core* dan *surface*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Rockwell* selain itu juga digunakan pengujian *Vickers Microhardness Test* untuk mengetahui profil kekerasan pada permukaan produk *fastener*.

Pada Tabel 4.13 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *core* dari *body fastener*, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh sebesar 28.8 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 1.4. Sementara pada Tabel 4.14 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *surface* dari *body fastener* dengan nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh 234 HV. Rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 5.

Tabel 4.13 Core Hardness Area Body Eksperimen 4

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	28.9	28.4	28.7	28.8	1.4
	22-32	29.0	27.7	29.8		
	(HRC)	29.6	27.6	29.4		
	Rata-rata	29.2	27.9	29.3		

Tabel 4.14 Surface Hardness Area Body Eksperimen 4

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	225	232	241	234	5
	318 Max	239	236	231		
	(HV)	230	235	237		
	AVERAGE	231	234	236		

Untuk hasil uji *Vickers Microhardness* pada permukaan produk *fastener* ditunjukkan pada Tabel 4.15.

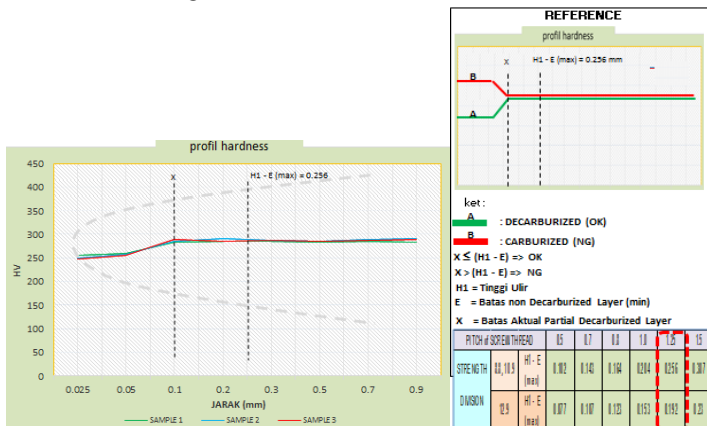
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Tabel 4.15 Hasil Uji *Vickers Microhardness* Eksperimen 4

SAMPLE	JARAK UJI (mm)							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
1	256	260	283	286	286	284	286	284
2	250	257	286	291	287	286	290	291
3	248	255	290	286	287	285	288	290
X	251	257	286	288	287	285	288	288
R	3	5	4	4	6	6	8	7

Dari data uji pada Tabel 4.15, maka didapatkan profil kekerasan sebagai berikut:



Gambar 4.10 Profil Kekerasan Produk *Fastener* Eksperimen 4

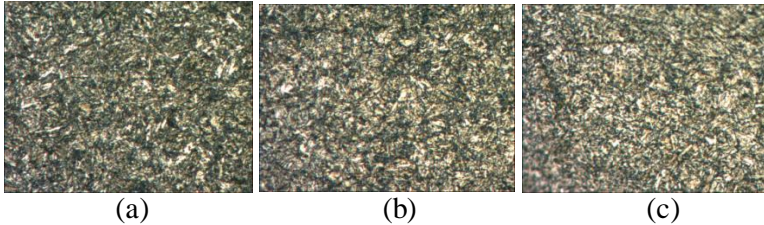
Berdasarkan Gambar 4.10 mengenai profil kekerasan produk *fastener* eksperimen 4, tidak menunjukkan adanya *carburized layer*, sehingga secara *Vickers Microhardness Test* dinyatakan sesuai dengan standard HES D3211-99A.

Maka secara keseluruhan untuk pengujian kekerasan, sample pada eksperimen 4 telah memenuhi standard HES D3211-99A.



b. Pengujian Mikrostruktur

Hasil uji mikrostruktur dilakukan pada sample eksperimen 4 terdapat pada Gambar 4.11, dimana berdasarkan standard yang berlaku mikrostruktur dari sampel pada bagian *body* harus sepenuhnya berupa *tempered martensite*.

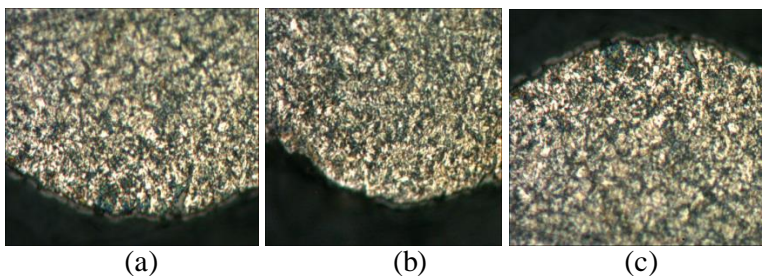


Gambar 4.11 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Eksperimen 4 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3

Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 4.11, terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *tempered martensite*. Fasa ini umumnya terbentuk pada proses *heat treatment* baja dan memiliki sifat mekanik yang lebih tangguh (*toughness*) dibandingkan dengan fasa *untempered martensite* yang lebih getas. Sehingga secara mikrostruktur pada bagian *body* produk *fastener* dinyatakan sesuai dengan standard

c. Pengamatan Decarburisasi Ulir

Berdasarkan standard HES D3211-99A, pada ulir apabila terdapat *ferrite* kedalaman yang diperbolehkan yakni 15 μm selain itu *heigh of part not decarburized* min 2/3 H1 dimana H1 berdasarkan standar yakni 0.767 mm. Hasil uji mikrostruktur ulir ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 4 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

Berdasarkan pengamatan decarburisasi ulir pada Gambar 4.12, pada ketiga sample tidak terdapat *height of part not decarburized*, keseluruhan ulir telah terdecaburisasi secara sempurna. Selain itu pula dari pengamatan tidak ada fasa *ferrite*. Sehingga untuk decarburisasi ulir sample eksperimen 4 dinyatakan sesuai dengan standard.

d. Pengujian *Tensile Test*

Hasil dari pengujian *tensile test* yang dilakukan pada dua sampel eksperimen 4 yang diambil secara acak ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian *Tensile Test* Eksperimen 4

Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
Sampel 1	47.539	4204.0	81.28	88.43
Sampel 2	47.539	4204.0	81.19	88.06

Bedasarkan HES D3211-99A nilai *tensile strength* berada pada rentang 80 – 100 kgf/mm², sehingga hasil pengujian kedua sampel untuk eksperimen 4 memenuhi standard tersebut.



4.1.5 Hasil Pengujian Eksperimen 5

Secara keseluruhan untuk pengujian sampel eksperimen 5 dalam kondisi yang baik dan memenuhi standard HES D3211-99A berikut rincian hasil pengujian eksperimen 5:

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian *body fastener* yakni untuk bagian *core* dan *surface*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Rockwell* selain itu juga digunakan pengujian *Vickers Microhardness Test* untuk mengetahui profil kekerasan pada permukaan produk *fastener*.

Pada Tabel 4.17 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *core* dari *body fastener*, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh sebesar 26.7 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 1.8. Sementara pada Tabel 4.14 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *surface* dari *body fastener* dengan nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh 216 HV. Rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 10.

Tabel 4.17 Core Hardness Area Body Eksperimen 5

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	25.7	27.5	27.3	26.7	1.8
	22-32	25.5	27.2	26.4		
	(HRC)	25.8	27.8	26.8		
	Rata-rata	25.7	27.5	26.8		

Tabel 4.18 Surface Hardness Area Body Eksperimen 5

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	218	222	209	216	10
	318 Max	203	219	224		
	(HV)	214	205	233		
	Rata-rata	212	215	222		

Untuk hasil uji *Vickers Microhardness* pada permukaan produk *fastener* ditunjukkan pada Tabel 4.19.

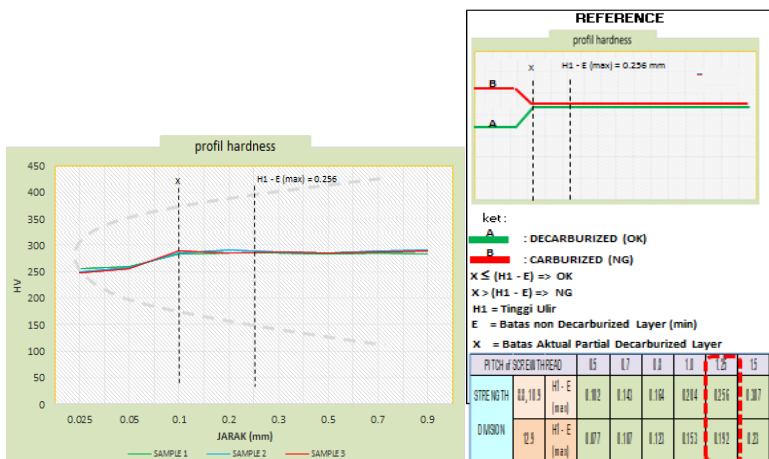
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Tabel 4.19 Hasil Uji *Vickers Microhardness* Eksperimen 5

SAMPLE	JARAK UJI (mm)							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
1	263	264	270	260	272	269	271	268
2	260	270	273	271	274	276	280	278
3	255	263	268	272	267	270	273	274
X	259	266	270	268	271	272	275	273
R	3	5	4	4	6	6	8	7

Dari data uji pada Tabel 4.19, maka didapatkan profil kekerasan sebagai berikut:



Gambar 4.13 Profil Kekerasan Produk *Fastener* Eksperimen 5

Berdasarkan Gambar 4.13 mengenai profil kekerasan produk *fastener* eksperimen 4, tidak menunjukkan adanya *carburized layer*, sehingga secara *Vickers Microhardness Test* dinyatakan sesuai dengan standard HES D3211-99A.

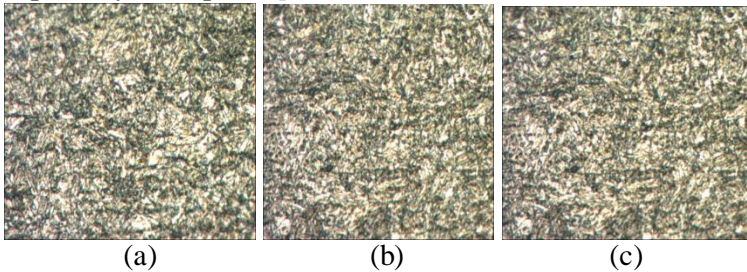
Maka secara keseluruhan untuk pengujian kekerasan, sample pada eksperimen 5 telah memenuhi standard HES D3211-99A.

b. Pengujian Mikrostruktur

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Hasil uji mikrostruktur dilakukan pada sample eksperimen 5 terdapat pada Gambar 4.14, dimana berdasarkan standard yang berlaku mikrostruktur dari sampel pada bagian *body* harus sepenuhnya berupa *tempered martensite*



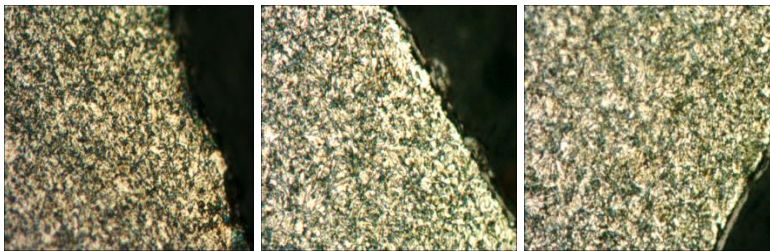
Gambar 4.14 Mikrostruktur *Tempered Martensite*

Eksperimen 4 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3

Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 4.14, terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *tempered martensite*. Fasa ini umumnya terbentuk pada proses *heat treatment* baja dan memiliki sifat mekanik yang lebih tangguh (*toughness*) dibandingkan dengan fasa *untempered martensite* yang lebih getas. Sehingga secara mikrostruktur pada bagian *body* produk *fastener* dinyatakan sesuai dengan standard.

c. Pengamatan Decarburisasi Ulir

Berdasarkan standard HES D3211-99A, pada ulir apabila terdapat *ferrite* kedalaman yang diperbolehkan yakni 15 μm selain itu *heigh of part not decarburized* min 2/3 H1 dimana H1 berdasarkan standar yakni 0.767 mm. Hasil uji mikrostruktur ulir ditunjukkan pada Gambar 4.15.



(a) (b) (c)

Gambar 4.15 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 5 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

Berdasarkan pengamatan decarburisasi ulir pada Gambar 4.15, pada ketiga sample tidak terdapat *height of part not decarburized*, keseluruhan ulir telah terdecaburisasi secara sempurna. Selain itu pula dari pengamatan tidak ada fasa *ferrite*. Sehingga untuk decarburisasi ulir sample eksperimen 5 dinyatakan sesuai dengan standard.

d. Pengujian *Tensile Test*

Hasil dari pengujian *tensile test* yang dilakukan pada dua sampel eksperimen 5 yang diambil secara acak ditunjukkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hasil Pengujian *Tensile Test* Eksperimen 5

Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
Sampel 1	47.539	3968.6	76.22	83.48
Sampel 2	47.539	3976.2	76.81	83.64

Berdasarkan HES D3211-99A nilai tensile strength berada pada rentang 80 – 100 kgf/mm², sehingga hasil pengujian kedua sampel untuk eksperimen 5 memenuhi standard tersebut.



4.1.6 Hasil Pengujian Eksperimen 6

Secara keseluruhan untuk pengujian sampel eksperimen 6 dalam kondisi yang baik dan memenuhi standard HES D3211-99A berikut rincian hasil pengujian eksperimen 6:

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian *body fastener* yakni untuk bagian *core* dan *surface*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Rockwell* selain itu juga digunakan pengujian *Vickers Microhardness Test* untuk mengetahui profil kekerasan pada permukaan produk *fastener*.

Pada Tabel 4.21 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *core* dari *body fastener*, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh sebesar 30.8.7 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 0.7. Sementara pada Tabel 4.22 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *surface* dari *body fastener* dengan nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh 236 HV. Rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 14.

Tabel 4.21 Core Hardness Area Body Eksperimen 6

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	30.0	30.6	31.2	30.8	0.7
	22-32	26,1	31.0	31.2		
	(HRC)	30.8	31.2	31.0		
	Rata-rata	30.4	30.9	31.1		

Tabel 4.22 Surface Hardness Area Body Eksperimen 6

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	224	242	240	236	14
	318 Max	227	244	239		
	(HV)	233	239	236		
	Rata-rata	228	242	238		

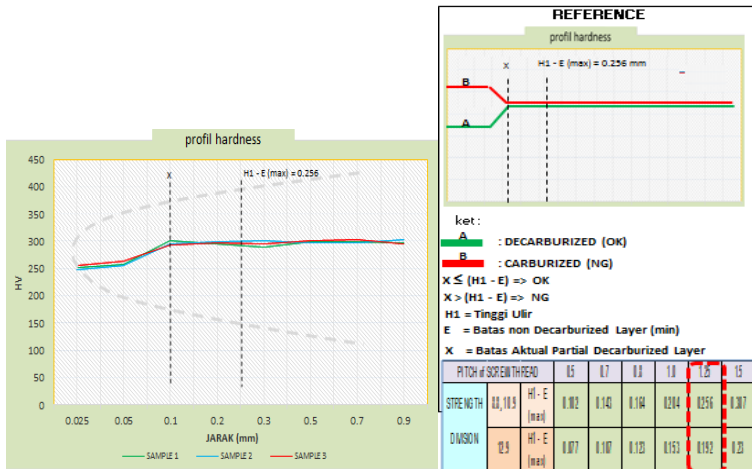


Untuk hasil uji *Vickers Microhardness* pada permukaan produk *fastener* ditunjukkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Hasil Uji *Vickers Microhardness* Eksperimen 6

SAMPLE	JARAK UJI (mm)							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
1	252	257	301	296	290	300	299	297
2	248	255	296	300	301	297	297	303
3	255	263	293	297	295	301	303	296
X	252	258	297	298	295	299	300	299
R	3	5	4	4	6	6	8	7

Dari data uji pada Tabel 4.23, maka didapatkan profil kekerasan sebagai berikut:



Gambar 4.16 Profil Kekerasan Produk *Fastener* Eksperimen 6

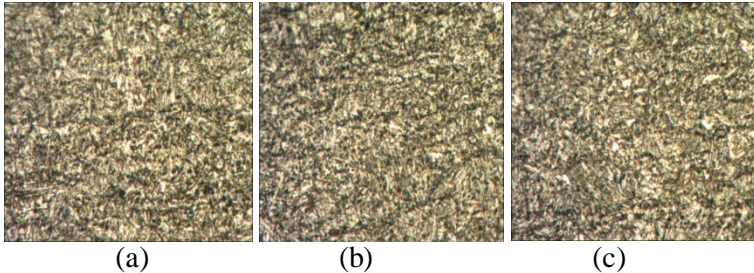
Berdasarkan Gambar 4.16 mengenai profil kekerasan produk *fastener* eksperimen 6, tidak menunjukkan adanya *carburized layer*, sehingga secara *Vickers Microhardness Test* dinyatakan sesuai dengan standard HES D3211-99A.

Maka secara keseluruhan untuk pengujian kekerasan, sample pada eksperimen 6 telah memenuhi standard HES D3211-99A.



b. Pengujian Mikrostruktur

Hasil uji mikrostruktur dilakukan pada sample eksperimen 6 terdapat pada Gambar 4.22, dimana berdasarkan standard yang berlaku mikrostruktur dari sampel pada bagian *body* harus sepenuhnya berupa *tempered martensite*



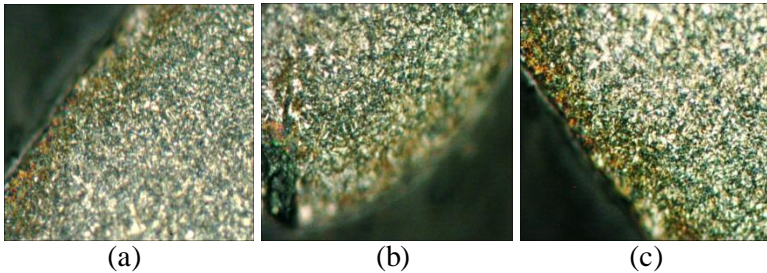
Gambar 4.17 Mikrostruktur *Tempered Martensite*

Eksperimen 6 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3

Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 4.17, terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *tempered martensite*. Fasa ini umumnya terbentuk pada proses *heat treatment* baja dan memiliki sifat mekanik yang lebih tangguh (*toughness*) dibandingkan dengan fasa *untempered martensite* yang lebih getas. Sehingga secara mikrostruktur pada bagian *body* produk *fastener* dinyatakan sesuai dengan standard.

c. Pengamatan Decarburisasi Ulir

Berdasarkan standard HES D3211-99A, pada ulir apabila terdapat *ferrite* kedalaman yang diperbolehkan yakni 15 μm selain itu *heigh of part not decarburized* min 2/3 H1 dimana H1 berdasarkan standar yakni 0.767 mm. Hasil uji mikrostruktur ulir ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 6 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

Berdasarkan pengamatan decarburisasi ulir pada Gambar 4.18, pada ketiga sample tidak terdapat *height of part not decarburized*, keseluruhan ulir telah terdecarburisasi secara sempurna. Selain itu pula dari pengamatan tidak ada fasa *ferrite*. Sehingga untuk decarburisasi ulir sample eksperimen 6 dinyatakan sesuai dengan standard.

d. Pengujian *Tensile Test*

Hasil dari pengujian *tensile test* yang dilakukan pada dua sampel eksperimen 6 yang diambil secara acak ditunjukkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Hasil Pengujian *Tensile Test* Eksperimen 6

Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
Sampel 1	47.539	4469.0	87.91	94.01
Sampel 2	47.539	4357.5	86.09	91.66

Bedasarkan HES D3211-99A nilai *tensile strength* berada pada rentang 80 – 100 kgf/mm², sehingga hasil pengujian kedua sampel untuk eksperimen 6 memenuhi standard tersebut.



4.1.7 Hasil Pengujian Eksperimen 7

Secara keseluruhan untuk pengujian sampel eksperimen 7 dalam kondisi yang baik dan memenuhi standard HES D3211-99A berikut rincian hasil pengujian eksperimen 7:

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian *body fastener* yakni untuk bagian *core* dan *surface*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Rockwell* selain itu juga juga digunakan pengujian *Vickers Microhardness Test* untuk mengetahui profil kekerasan pada permukaan produk *fastener*.

Pada Tabel 4.25 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *core* dari *body fastener*, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh sebesar 26.4 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 1.6. Sementara pada Tabel 4.26 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *surface* dari *body fastener* dengan nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh 225 HV. Rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 19.

Tabel 4.25 Core Hardness Area Body Eksperimen 7

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	27.0	26.9	25.0	26.4	1.6
	22-32	26.9	26.1	25.6		
	(HRC)	27.2	26.9	25.6		
	Rata-rata	27.0	26.6	25.4		

Tabel 4.26 Surface Hardness Area Body Eksperimen 7

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	214	234	213	225	19
	318 Max	234	237	224		
	(HV)	233	229	206		
	Rata-rata	227	233	214		

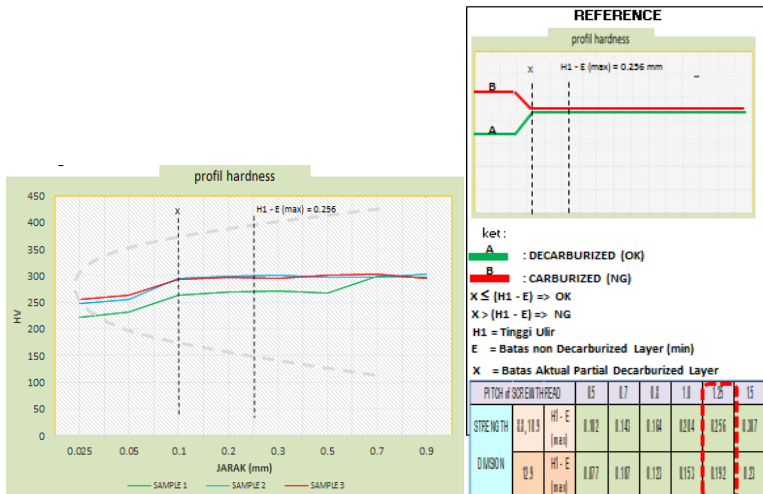


Untuk hasil uji *Vickers Microhardness* pada permukaan produk *fastener* ditunjukkan pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Hasil Uji *Vickers Microhardness* Eksperimen 7

SAMPLE	JARAK UJI (mm)							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
1	222	231	264	270	271	268	270	261
2	226	235	270	273	267	270	271	269
3	230	237	267	270	272	273	275	270
X	226	234	267	271	270	270	272	267
R	3	5	4	4	6	6	8	7

Dari data uji pada Tabel 4.27, maka didapatkan profil kekerasan sebagai berikut:



Gambar 4.19 Profil Kekerasan Produk *Fastener* Eksperimen 7

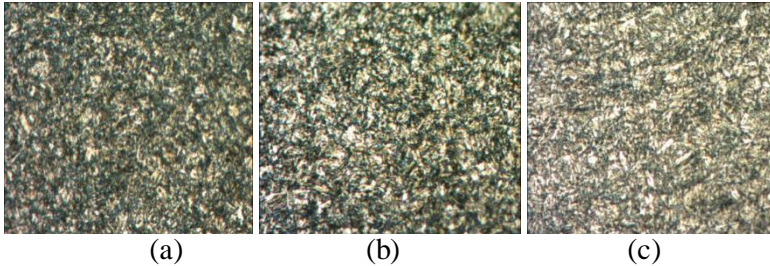
Berdasarkan Gambar 4.19 mengenai profil kekerasan produk *fastener* eksperimen 7, tidak menunjukkan adanya *carburized layer*, sehingga secara *Vickers Microhardness Test* dinyatakan sesuai dengan standard HES D3211-99A

Maka secara keseluruhan untuk pengujian kekerasan, sample pada eksperimen 7 telah memenuhi standard HES D3211-99A.



b. Pengujian Mikrostruktur

Hasil uji mikrostruktur dilakukan pada sample eksperimen 7 terdapat pada Gambar 4.20, dimana berdasarkan standard yang berlaku mikrostruktur dari sampel pada bagian *body* harus sepenuhnya berupa *tempered martensite*



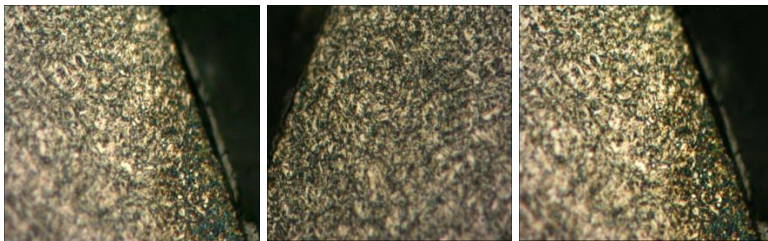
Gambar 4.20 Mikrostruktur *Tempered Martensite*

Eksperimen 7 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3

Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 4.20, terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *tempered martensite*. Fasa ini umumnya terbentuk pada proses *heat treatment* baja dan memiliki sifat mekanik yang lebih tangguh (*toughness*) dibandingkan dengan fasa *untempered martensite* yang lebih getas. Sehingga secara mikrostruktur pada bagian *body* produk *fastener* dinyatakan sesuai dengan standard.

c. Pengamatan Decarburisasi Ulir

Berdasarkan standard HES D3211-99A, pada ulir apabila terdapat *ferrite* kedalaman yang diperbolehkan yakni 15 μm selain itu *heigh of part not decarburized* min 2/3 H1 dimana H1 berdasarkan standar yakni 0.767 mm. Hasil uji mikrostruktur ulir ditunjukkan pada Gambar 4.21.



(a) (b) (c)

Gambar 4.21 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 7 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

Berdasarkan pengamatan decarburisasi ulir pada Gambar 4.21, pada ketiga sample tidak terdapat *height of part not decarburized*, keseluruhan ulir telah terdecaburisasi secara sempurna. Selain itu pula dari pengamatan tidak ada fasa *ferrite*. Sehingga untuk decarburisasi ulir sample eksperimen 7 dinyatakan sesuai dengan standard.

d. Pengujian *Tensile Test*

Hasil dari pengujian *tensile test* yang dilakukan pada dua sampel eksperimen 7 yang diambil secara acak ditunjukkan pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Hasil Pengujian *Tensile Test* Eksperimen 7

Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
Sampel 1	47.539	4011.4	76.18	84.38
Sampel 2	47.539	4359.0	85.90	91.69

Bedasarkan HES D3211-99A nilai *tensile strength* berada pada rentang 80 – 100 kgf/mm², sehingga hasil pengujian kedua sampel untuk eksperimen 7 memenuhi standard tersebut.



4.1.8 Hasil Pengujian Eksperimen 8

Secara keseluruhan untuk pengujian sampel eksperimen 8 dalam kondisi yang baik dan memenuhi standard HES D3211-99A berikut rincian hasil pengujian eksperimen 8:

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian *body fastener* yakni untuk bagian *core* dan *surface*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Rockwell* selain itu juga digunakan pengujian *Vickers Microhardness Test* untuk mengetahui profil kekerasan pada permukaan produk *fastener*.

Pada Tabel 4.29 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *core* dari *body fastener*, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh sebesar 31 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 0.6. Sementara pada Tabel 4.30 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *surface* dari *body fastener* dengan nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh 238 HV. Rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 4.

Tabel 4.29 Core Hardness Area Body Eksperimen 8

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	30.8	31.1	30.0	31.0	0.6
	22-32	31.2	31.4	31.3		
	(HRC)	31.6	30.9	30.5		
	Rata-rata	31.2	31.1	30.6		

Tabel 4.30 Surface Hardness Area Body Eksperimen 8

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	247	240	238	238	4
	318 Max	214	244	237		
	(HV)	245	230	244		
	Rata-rata	235	238	240		

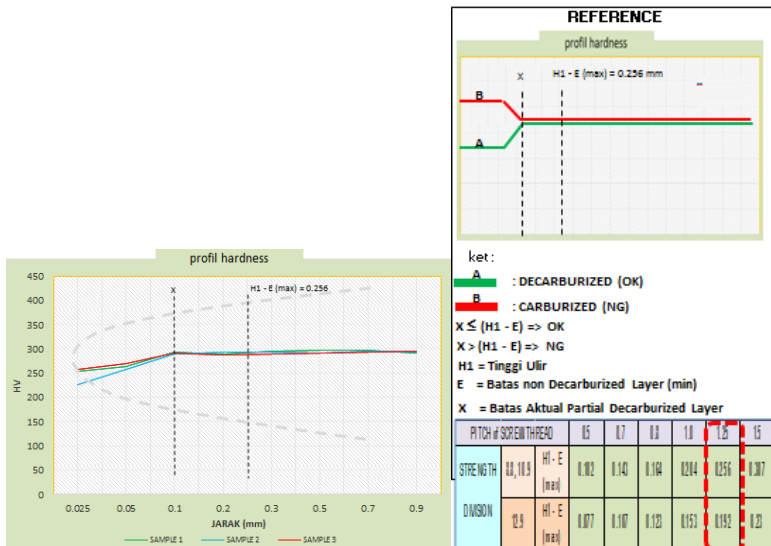


Untuk hasil uji *Vickers Microhardness* pada permukaan produk *fastener* ditunjukkan pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Hasil Uji *Vickers Microhardness* Eksperimen 8

SAMPLE	JARAK UJI (mm)							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
1	222	231	264	270	271	268	270	261
2	226	235	270	273	267	270	271	269
3	230	237	267	270	272	273	275	270
X	226	234	267	271	270	270	272	267
R	3	5	4	4	6	6	8	7

Dari data uji pada Tabel 4.31, maka didapatkan profil kekerasan sebagai berikut:



Gambar 4.22 Profil Kekerasan Produk *Fastener* Eksperimen 8

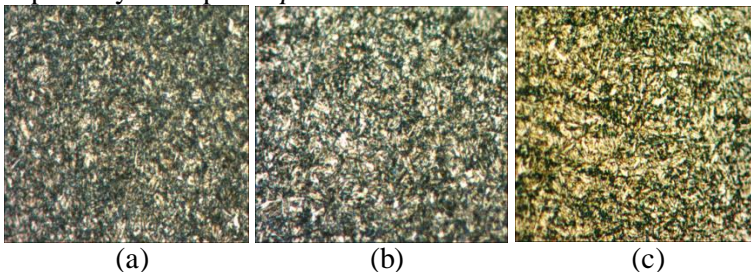
Berdasarkan Gambar 4.22 mengenai profil kekerasan produk *fastener* eksperimen 8, tidak menunjukkan adanya *carburized layer*, sehingga secara *Vickers Microhardness Test* dinyatakan sesuai dengan standard HES D3211-99A.



Maka secara keseluruhan untuk pengujian kekerasan, sample pada eksperimen 8 telah memenuhi standard HES D3211-99A.

b. Pengujian Mikrostruktur

Hasil uji mikrostruktur dilakukan pada sample eksperimen 8 terdapat pada Gambar 4.23, dimana berdasarkan standard yang berlaku mikrostruktur dari sampel pada bagian *body* harus sepenuhnya berupa *tempered martensite*



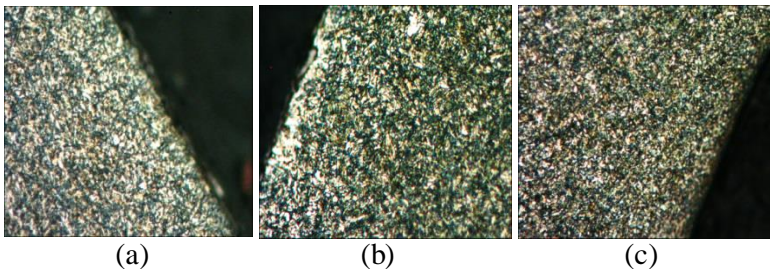
Gambar 4.23 Mikrostruktur *Tempered Martensite*

Eksperimen 8 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3

Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 4.23, terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *tempered martensite*. Fasa ini umumnya terbentuk pada proses *heat treatment* baja dan memiliki sifat mekanik yang lebih tangguh (*toughness*) dibandingkan dengan fasa *untempered martensite* yang lebih getas. Sehingga secara mikrostruktur pada bagian *body* produk *fastener* dinyatakan sesuai dengan standard.

c. Pengamatan Decarburisasi Ulir

Berdasarkan standard HES D3211-99A, pada ulir apabila terdapat *ferrite* kedalaman yang diperbolehkan yakni 15 μm selain itu *heigh of part not decarburized* min 2/3 H1 dimana H1 berdasarkan standar yakni 0.767 mm. Hasil uji mikrostruktur ulir ditunjukkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 8 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

Berdasarkan pengamatan decarburisasi ulir pada Gambar 4.24, pada ketiga sample tidak terdapat *height of part not decarburized*, keseluruhan ulir telah terdecaburisasi secara sempurna. Selain itu pula dari pengamatan tidak ada fasa *ferrite*. Sehingga untuk decarburisasi ulir sample eksperimen 8 dinyatakan sesuai dengan standard.

d. Pengujian *Tensile Test*

Hasil dari pengujian *tensile test* yang dilakukan pada dua sampel eksperimen 8 yang diambil secara acak ditunjukkan pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Hasil Pengujian *Tensile Test* Eksperimen 8

Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
Sampel 1	47.539	4599.5	87.80	96.75
Sampel 2	47.539	3988.2	76.06	83.89

Bedasarkan HES D3211-99A nilai *tensile strength* berada pada rentang 80 – 100 kgf/mm², sehingga hasil pengujian kedua sampel untuk eksperimen 8 memenuhi standard tersebut.



4.1.9 Hasil Pengujian Eksperimen 9

Secara keseluruhan untuk pengujian sampel eksperimen 9 dalam kondisi yang baik dan memenuhi standard HES D3211-99A berikut rincian hasil pengujian eksperimen 9:

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bagian *body fastener* yakni untuk bagian *core* dan *surface*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Rockwell* selain itu juga digunakan pengujian *Vickers Microhardness Test* untuk mengetahui profil kekerasan pada permukaan produk *fastener*.

Pada Tabel 4.33 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *core* dari *body fastener*, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh sebesar 28.9 HRC. Dengan rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 0.5. Sementara pada Tabel 4.34 menunjukkan hasil uji kekerasan pada bagian *surface* dari *body fastener* dengan nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh 228 HV. Rentang nilai kekerasan tertinggi dan terendah adalah 7.

Tabel 4.33 Core Hardness Area Body Eksperimen 9

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	28.9	28.6	28.6	28.9	0.5
	22-32	28.9	29.2	29.3		
	(HRC)	28.2	28.5	29.5		
	Rata-rata	28.7	28.8	29.1		

Tabel 4.34 Surface Hardness Area Body Eksperimen 9

SAMPLE	STANDARD	1	2	3	Rata-rata	R
AREA BODY	<i>St. division</i> 8.8	225	214	230	228	7
	318 Max	232	232	224		
	(HV)	238	234	221		
	Rata-rata	232	227	225		

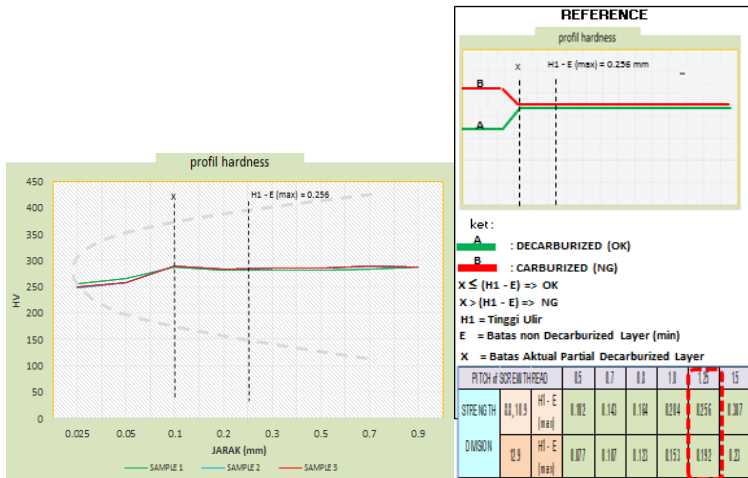


Untuk hasil uji *Vickers Microhardness* pada permukaan produk *fastener* ditunjukkan pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Hasil Uji Vickers Microhardness Eksperimen 9

SAMPLE	JARAK UJI (mm)							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
1	255	266	288	282	281	281	283	287
2	248	256	284	286	283	287	287	284
3	250	257	290	289	286	285	290	287
X	251	260	287	286	283	284	287	286
R	3	5	4	4	6	6	8	7

Dari data uji pada Tabel 4.35, maka didapatkan profil kekerasan sebagai berikut:



Gambar 4.25 Profil Kekerasan Produk *Fastener* Eksperimen 9

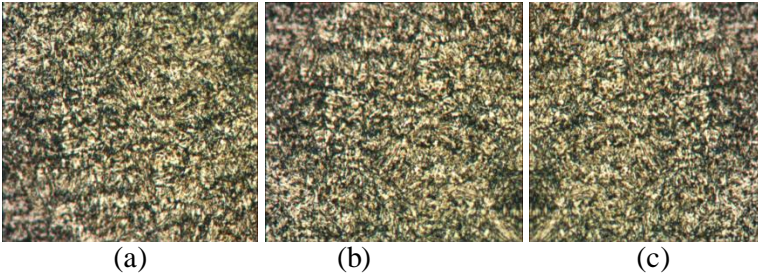
Berdasarkan Gambar 4.25 mengenai profil kekerasan produk *fastener* eksperimen 9, tidak menunjukkan adanya *carburized layer*, sehingga secara *Vickers Microhardness Test* dinyatakan sesuai dengan standard HES D3211-99A.

Maka secara keseluruhan untuk pengujian kekerasan, sample pada eksperimen 9 telah memenuhi standard HES D3211-99A.



b. Pengujian Mikrostruktur

Hasil uji mikrostruktur dilakukan pada sample eksperimen 9 terdapat pada Gambar 4.26, dimana berdasarkan standard yang berlaku mikrostruktur dari sampel pada bagian *body* harus sepenuhnya berupa *tempered martensite*.

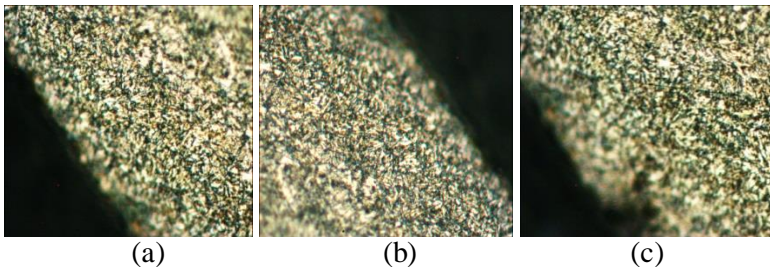


Gambar 4.26 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Eksperimen 9 Perbersaran 500x Etsa Nital 3% (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3

Dari hasil pengamatan mikrostruktur pada Gambar 4.26, terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa *tempered martensite*. Fasa ini umumnya terbentuk pada proses *heat treatment* baja dan memiliki sifat mekanik yang lebih tangguh (*toughness*) dibandingkan dengan fasa *untempered martensite* yang lebih getas. Sehingga secara mikrostruktur pada bagian *body* produk *fastener* dinyatakan sesuai dengan standard.

c. Pengamatan Decarburisasi Ulir

Berdasarkan standard HES D3211-99A, pada ulir apabila terdapat *ferrite* kedalaman yang diperbolehkan yakni 15 μm selain itu *heigh of part not decarburized* min 2/3 H1 dimana H1 bedasarkan standar yakni 0.767 mm. Hasil uji mikrostruktur ulir ditunjukkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 9 Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

Berdasarkan pengamatan decarburisasi ulir pada Gambar 4.29, pada ketiga sample tidak terdapat *height of part not decarburized*, keseluruhan ulir telah terdecaburisasi secara sempurna. Selain itu pula dari pengamatan tidak ada fasa *ferrite*. Sehingga untuk decarburisasi ulir sample eksperimen 9 dinyatakan sesuai dengan standard.

d. Pengujian *Tensile Test*

Hasil dari pengujian *tensile test* yang dilakukan pada dua sampel eksperimen 9 yang diambil secara acak ditunjukkan pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Hasil Pengujian *Tensile Test* Eksperimen 9

Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
Sampel 1	47.417	4239.5	83.11	89.41
Sampel 2	47.417	4212.4	82.10	88.84

Bedasarkan HES D3211-99A nilai *tensile strength* berada pada rentang 80 – 100 kgf/mm², sehingga hasil pengujian kedua sampel untuk eksperimen 9 memenuhi standard tersebut.

4.2 Analisis Data dengan Metode Taguchi

Tahap analisis data adalah tahapan yang dilakukan untuk mengolah data hasil eksperimen, dimana pada tahap ini respons



yang digunakan adalah nilai kekerasan. Pada tahap analisis data ini akan dilakukan analisis dan perhitungan secara statistik untuk mendapatkan kesimpulan level optimum proses *heat treatment* dari percobaan yang dilakukan. Dalam tahap analisis data ini terdapat beberapa perhitungan, yaitu perhitungan terhadap rata-rata masing-masing variabel respon dan perhitungan terhadap *signal to noise (S/N) ratio* masing-masing respon.

4.2.1 Perhitungan Pengaruh Level dari Faktor Terhadap Kekerasan Produk *Fastener*

Perhitungan pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekerasan melalui beberapa tahap, yaitu : perhitungan rata-rata respon, perhitungan pengaruh faktor terhadap rata-rata respon, perhitungan analisis varians dan perhitungan persen kontribusi.

a. Rata-Rata Kekerasan Produk *Fastener* SWCH 45K

Setelah melakukan eksperimen sesuai dengan matriks *orthogonal array* maka didapatkan nilai rata-rata kekerasan dari keseluruhan eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Data Rata-Rata Kekerasan Produk *Fastener*

Eksperimen	Faktor			Replikasi (HRC)			Rata-rata
	A	B	C	1	2	3	
1	1	1	1	29.3	32	30.6	30.6
2	1	2	2	27.2	27.3	28.2	27.6
3	1	3	3	25.6	26.3	26	26
4	2	1	2	29.2	27.9	29.3	28.8
5	2	2	3	25.7	27.5	26.8	26.7
6	2	3	1	30.4	30.9	31.1	30.8
7	3	1	3	27	26.6	25.4	26.4
8	3	2	1	31.2	31.1	30.6	31
9	3	3	2	28.7	28.8	29.1	28.9

Keterangan:

Faktor A : Temperatur *hardening*

Faktor B : Waktu tahan *hardening*

Faktor C : Temperatur *tempering*

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



b. Perhitungan Pengaruh Faktor Terhadap Kekerasan Produk *Fastener*

Pengaruh faktor terhadap rata-rata respon kekerasan produk *fastener* yaitu:

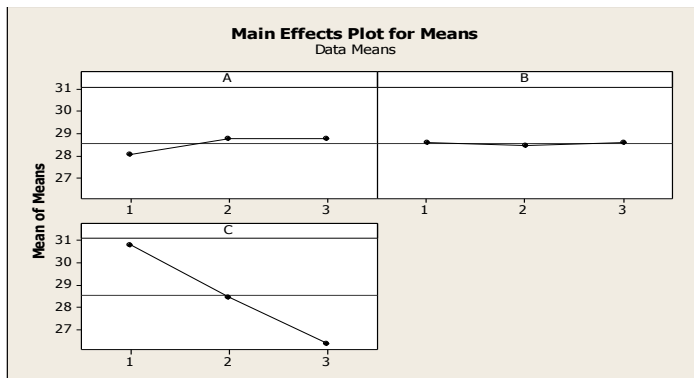
$$A_1 = \frac{1}{3} (30.6 + 27.6 + 26) = 28.07$$

A_1 merupakan rata-rata dari kekerasan produk *fastener* yang berasal dari faktor A (temperatur *hardening*) pada level 1 (800;820;820;830°C). Dengan cara yang sama dihitung masing-masing faktor. Hasil perhitungan dengan menggunakan Minitab 16 ditunjukkan pada Tabel 4.38 diperoleh faktor-faktor yang optimum dengan karakteristik respon kekerasan produk *fastener* SWCH 45K *nominal is best*.

Tabel 4.38 Pengaruh Faktor Terhadap Rata-Rata Kekerasan Produk *Fastener*

Level	A	B	C
1	28.07	28.60	30.80
2	28.77	28.43	28.43
3	28.77	28.57	26.37
Selisih	0.7	0.17	4.43
Ranking	2	3	1

Hasil perhitungan dengan menggunakan software Minitab tersebut diplot pada kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4.28 mengenai pengaruh faktor terhadap rata-rata kekerasan.



Gambar 4.28 Pengaruh Faktor Terhadap Rata-rata Kekerasan

Sehingga berdasarkan Gambar 4.28 dan Tabel 4.38 dapat dilihat bahwa urutan faktor yang mempengaruhi rata-rata kekerasan produk *fastener* dengan karakteristik *nominal is best* adalah faktor C (temperature *tempering*), faktor A (temperature *hardening*) dan faktor B (waktu tahan *hardening*). Berdasarkan perhitungan tersebut pula didapat nilai rata-rata terbesar pada faktor A level 2 dan 3, faktor B pada level 1 dan faktor C pada level 1.

c. Menghitung Analisis Varians Terhadap Rata-Rata Kekerasan Produk *Fastener*

Perhitungan ANOVA dilakukan untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh adapun hasil perhitungan dengan menggunakan Minitab 16 ditunjukkan pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39 ANOVA Rata-Rata Kekerasan Produk *Fastener*

Analysis of Variance for Kekerasan

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperatur Hardening	2	0.9800	0.9800	0.4900	2.83	0.261
Waktu Tahan Hardening	2	0.0467	0.0467	0.0233	0.13	0.881
Temperatur Tempering	2	29.5267	29.5267	14.7633	85.17	0.012
Error	2	0.3467	0.3467	0.1733		
Total	8	30.9000				



Berdasarkan Tabel 4.39, nilai F yang paling besar yakni senilai 85.17 didapatkan oleh faktor C atau temperatur *tempering*. Hal ini menunjukkan temperatur *tempering* merupakan faktor yang paling signifikan dalam mempengaruhi rata-rata kekerasan produk *fastener* SWCH 45K.

d. Menghitung Persen Kontribusi

Berdasarkan Tabel 4.39 yang telah dilakukan, maka dapat dicari persen kontribusi setiap faktor terhadap kekerasan produk *fastener* SWCH 45K, dengan perhitungan SS' terlebih dahulu sebagai berikut:

- $SS_A = SS_A - MS_{\text{error}} (V_A) = 0.98 - 0.1733 (2) = 0.6334$
- $SS'_B = SS_B - MS_{\text{error}} (V_B) = 0.0467 - 0.1733 (2) = 0.2999$
- $SS'_C = SS_C - MS_{\text{error}} (V_C) = 29.5267 - 0.1733(2) = 29.1801$

Sedangkan persen kontribusi tiap faktor sebagai berikut:

- $\rho_A = \frac{SS'_A}{SST} \times 100\% = \frac{0.6334}{30.90} \times 100\% = 2.049\%$
- $\rho_B = \frac{SS'_B}{SST} \times 100\% = \frac{0.2999}{30.90} \times 100\% = 0.97\%$
- $\rho_A = \frac{SS'_C}{SST} \times 100\% = \frac{29.1801}{30.90} \times 100\% = 94.43\%$

Tabel 4.40 Persen Kontribusi Rata-rata Kekerasan
Produk *Fastener*

Variasi	DF	Adj SS	Adj MS	SS'	ρ (%)
A	2	0.98	0.49	0.6334	2.049
B	2	0.0467	0.0233	0.2999	0.97
C	2	29.5267	14.7633	29.1801	94.43
Error	2	0.343	0.1733		2.51
Total	8	30.90			100

Dari Tabel 4.40 menunjukkan pengaruh faktor C (temperatur *tempering*) paling besar persen kontribusi nya mencapai 94.43% dibandingkan faktor A (temperatur *hardening*) dengan persen kontribusi 2.049% dan faktor B dengan persen kontribusi hanya 0.97%.



4.2.2 Perhitungan *Signal to Noise (S/N) Ratio* Kekerasan Produk Fastener

Dalam desain Taguchi, ukuran ketahanan digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor kontrol yang mengurangi variabilitas dalam produk atau proses dengan meminimalkan efek dari faktor tak terkendali (*noise faktor*). Faktor kontrol adalah desain dan proses parameter yang dapat dikendalikan. Faktor kebisingan tidak dapat dikontrol selama produksi atau penggunaan produk, tetapi dapat dikontrol selama eksperimen. *Signal to Noise Ratio* merupakan rasio yang mengukur dampak faktor kontrol terhadap faktor gangguan. Dimana faktor kontrol dihitung berdasarkan dengan nilai rata-rata dan faktor gangguan dihitung berdasarkan standard deviasi variabel respons. Dengan demikian, rasio S/N pada dasarnya adalah rasio *mean* terhadap standard deviasi (dalam statistik berkebalikan dari koefisien variasi). Rasio S/N yang tinggi menunjukkan sensitivitas terhadap gangguan yang rendah. Sehingga nilai rasio S/N yang tinggi mengidentifikasi pengaturan faktor kontrol yang meminimalkan efek dari faktor gangguan atau dapat disebut sebagai level optimum. Sementara karakteristik yang dipakai pada pendekatan taguchi ini adalah *Nominal is Best* dimana merupakan *signal to noise ratio* yang berguna untuk identifikasi faktor-faktor *scaling*, yakni faktor-faktor yang memiliki perbedaan rata-rata dan standard deviasi yang proporsional (James Evan, 2007).

Perhitungan pengaruh level dari faktor terhadap rasio S/N melalui beberapa tahap, yaitu : perhitungan rasio S/N masing-masing respon, perhitungan pengaruh faktor terhadap rasio S/N masing-masing respon, perhitungan analisis varians, perhitungan persen kontribusi, perhitungan estimasi nilai untuk kondisi respon optimum.

a. *Signal to Noise (S/N) Ratio* Kekerasan Produk Fastener

Pada penelitian ini menggunakan karakteristik *nominal is best* hal ini dikarenakan nilai kekerasan yang memenuhi standard



produk *fastener* menurut HES D3211-99A berada pada rentang 22-32 HRC. Nilai kekerasan optimum berada pada 27 HRC. Sehingga, hal itu dijadikan sebagai target perhitungan *signal to noise (S/N) ratio*. Adapun rumus yang digunakan pada karakteristik *nominal is best* adalah $S/N = -10 \log 10 \frac{\bar{y}^2}{s^2}$. Dengan menggunakan *software* Minitab 16 maka diperoleh hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.41.

Tabel 4.41 Data *S/N Ratio* Kekerasan Produk *Fastener*

Eksperimen	Faktor			Replikasi (HRC)			Rata-rata	Target	SN Ratio
	A	B	C	1	2	3			
1	1	1	1	29.3	32	30.6	30.6	27	21.0551
2	1	2	2	27.2	27.3	28.2	27.6	27	36.17
3	1	3	3	25.6	26.3	26	26	27	31.4737
4	2	1	2	29.2	27.9	29.3	28.8	27	26.8124
5	2	2	3	25.7	27.5	26.8	26.7	27	42.0466
6	2	3	1	30.4	30.9	31.1	30.8	27	20.6138
7	3	1	3	27	26.6	25.4	26.4	27	35.9770
8	3	2	1	31.2	31.1	30.6	31	27	20.1964
9	3	3	2	28.7	28.8	29.1	28.9	27	26.3578

a. Perhitungan Level Optimum Proses *Heat Treatment*

Pengaruh faktor terhadap *S/N ratio* kekerasan produk *fastener* yaitu:

$$A_1 = \frac{1}{3} (21.0551 + 36.17 + 31.4737) = 29.57$$

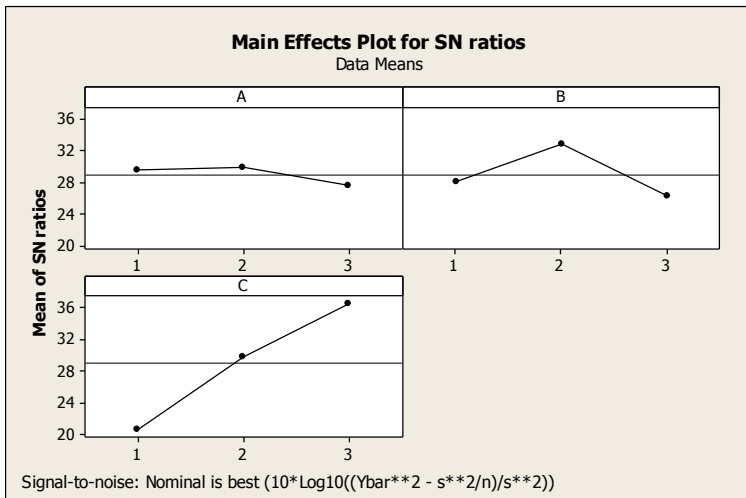
A_1 merupakan rata-rata dari *S/N ratio* kekerasan produk *fastener* yang berasal dari faktor A (temperatur *hardening*) pada level 1 (800;820;820;830°C). Dengan cara yang sama dihitung masing-masing faktor. Hasil perhitungan dengan menggunakan Minitab 16 ditunjukkan pada Tabel 4.42, diperoleh faktor-faktor yang optimum terhadap rasio *S/N* produk *fastener* SWCH 45K dengan karakteristik *nominal is best*



Tabel 4.42 Pengaruh Faktor Terhadap *S/N Ratio* Kekerasan Produk *Fastener*

Level	A	B	C
1	29.57	27.95	20.62
2	29.82	32.80	29.78
3	27.51	26.15	36.50
Selisih	2.31	6.66	15.88
Ranking	3	2	1

Hasil perhitungan dengan menggunakan software Minitab tersebut diplot pada kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4.29 mengenai pengaruh faktor terhadap rata-rata kekerasan.



Gambar 4.29 Pengaruh Faktor Terhadap *S/N Ratio* Kekerasan Produk *Fastener*

Berdasarkan perhitungan *S/N Ratio* dengan karakteristik *nominal is best* dengan menggunakan software Minitab 16 maka diperoleh bahwa level optimum untuk mencapai kekerasan senilai 27 HRC berada pada A_2, B_2, C_3 yakni pada temperatur *hardening* 820; 840; 840; 850°C dengan waktu tahan 45 menit dan temperatur *tempering* pada 530; 550; 550°C. Selain itu juga,



diketahui bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap *S/N ratio* kekerasan produk *fastener* adalah temperatur *tempering*, kemudian waktu tahan *hardening* dan temperatur *hardening*.

b. Menghitung Analisis Varians Terhadap Rata-Rata Kekerasan Produk *Fastener*

Perhitungan ANOVA dilakukan untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap rasio *S/N* adapun hasil perhitungan dengan menggunakan Minitab 16 ditunjukkan pada Tabel 4.43.

Tabel 4.43 ANOVA *S/N Ratio* Kekerasan Produk *Fastener*

Analysis of Variance for *S/N Ratio*

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperatur Hardening	2	9.63	9.63	4.82	0.26	0.794
Waktu Tahan Hardening	2	71.10	71.10	35.55	1.91	0.344
Temperatur Tempering	2	380.22	380.22	190.11	10.22	0.089
Error	2	37.22	37.22	18.61		
Total	8	498.17				

Berdasarkan Tabel 4.43, nilai *F* yang paling besar yakni senilai 10.22 didapatkan oleh faktor *C* atau temperatur *tempering*. Hal ini menunjukkan temperatur *tempering* merupakan faktor yang paling signifikan dalam mempengaruhi *S/N Ratio* produk *fastener* SWCH 45K.

c. Menghitung Persen Kontribusi

Berdasarkan perhitungan ANOVA yang telah dilakukan, maka dapat dicari persen kontribusi setiap faktor terhadap *S/N ratio* produk *fastener* SWCH 45K, dengan perhitungan *SS'* terlebih dahulu sebagai berikut:

- $SS'_A = SS_A - MS_{\text{Error}} (V_A) = 9.63 - 18.61 (2) = 27.59$
- $SS'_B = SS_B - MS_{\text{Error}} (V_B) = 71.1 - 18.61 (2) = 33.88$
- $SS'_C = SS_C - MS_{\text{Error}} (V_C) = 380.22 - 18.61 (2) = 343$

Sedangkan persen kontribusi tiap faktor sebagai berikut:

- $\rho_A = \frac{SS'_A}{SST} \times 100\% = \frac{27.59}{498.17} \times 100\% = 5.538\%$



- $\rho_B = \frac{SS'B}{SST} \times 100\% = \frac{33.88}{498.17} \times 100\% = 6.8\%$
- $\rho_A = \frac{SS'C}{SST} \times 100\% = \frac{343}{498.17} \times 100\% = 68.85\%$

Tabel 4.44 Persen Kontribusi *S/N Ratio* Kekerasan Produk *Fastener*

Variasi	DF	Adj SS	Adj MS	SS'	ρ (%)
A	2	9.6	4.8	27.7	5.538
B	2	71.1	35.6	33.8	6.8
C	2	381.1	190.6	343.8	68.85
Error	2	37.3	18.65		18.812
Total	8	499.1			100

Dari Tabel 4.44 menunjukkan pengaruh faktor C (temperatur *tempering*) paling besar persen kontribusi nya terhadap *S/N Ratio* atau pencapaian level optimum yakni dengan kekerasan 27 HRC mencapai 68.85% dibandingkan faktor B (waktu tahan *hardening*) dengan persen kontribusi 6.8% dan faktor A (temperatur *hardening*) dengan persen kontribusi hanya 5.538%.

d. Menghitung Nilai Prediksi Kekerasan Level Optimum

Berdasarkan perhitungan *S/N ratio* yang menunjukkan bahwa level optimum untuk proses *heat treatment* produk *fastener* dalam mencapai kekerasan senilai 27 HRC berada pada kombinasi A_2 , B_2 dan C_3 . Maka dilakukan perhitungan untuk prediksi nilai kekerasan dengan kombinasi tersebut.

a. Prediksi Nilai Kekerasan

$$\begin{aligned}
 \mu \text{ kekerasan} &= \bar{y} + (A_2 - \bar{y}) + (B_2 - \bar{y}) + (C_3 - \bar{y}) \\
 &= 28.53 + (28.77 - 28.53) + (28.43 - 28.53) + \\
 &\quad (26.37 - 28.53) \\
 &= 26.51 \text{ HRC}
 \end{aligned}$$

b. Prediksi Nilai *S/N Ratio*

$$\begin{aligned}
 \mu \text{ rasio } S/N &= \bar{y} + (A_2 - \bar{y}) + (B_2 - \bar{y}) + (C_3 - \bar{y}) \\
 &= 28.967 + (29.82 - 28.967) + (32.80 - 28.967) + \\
 &\quad (36.50 - 28.967) \\
 &= 41.186
 \end{aligned}$$



4.3 Analisis Data dengan Metode *Neural Network*

Sistem *artificial neural* adalah sistem seluler fisik yang mana dapat menyimpan dan memanfaatkan informasi eksperimental. Kekuatan pembelajaran pada algoritma dan kemampuan mengorganisir diri, memungkinkan *neural network* untuk beradaptasi terhadap lingkungan. Setelah melakukan analisis taguchi, selanjutnya melakukan analisis dengan menggunakan metode *neural network*. Dalam hal ini penulis ingin menganalisis kinerja jaringan saraf tiruan metode *Backpropagation* dalam memprediksi nilai kekerasan. Data hasil eksperimen dengan metode taguchi digunakan sebagai pelatihan, kemudian data hasil pelatihan dibandingkan kembali dengan hasil eksperimen. Pola pelatihan yang telah dibentuk digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari kombinasi parameter tertentu. Hasil *output* akan dibandingkan secara keseluruhan, dimana kombinasi parameter dengan *output* nilai kekerasan mendekati 27 HRC yang terbanyak selama 50 iterasi merupakan level optimum. Proses iterasi dan *running* data menggunakan *software* Matlab R2013a.

4.3.1 Proses Pelatihan Data

Dalam pelatihan ini algoritma yang digunakan adalah *Multi Layer Preception* (MCP), dalam algoritma ini optimasi pemberat selama proses pembelajaran bisa menggunakan rumusan terbaru yang diberikan fungsi keluaran pada *neuron*. Struktur *neural network* yang digunakan adalah *Backpropagation* (BP). Penentuan parameter *neural network* dilakukan dengan mencari nilai koefisien korelasi (R^2) di atas 0,9 dan *Mean Square Error* (MSE). Proses *training* dilakukan sebanyak 50 kali.

a. *Preposesing/Normalisasi*

Normalisasi dilakukan terhadap parameter proses dan respon dengan menggunakan Persamaan 4.1.

$$X_i = \frac{X_{real} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4.1)$$

Adapun hasil normalisasi ditunjukkan pada Tabel 4.45 sebagai berikut.



Tabel 4.45 Data Hasil Normalisasi

No	A	B	C	\bar{y}
1	0	0	0	0.92
2	0	0.5	0.5	0.32
3	0	1	1	0
4	0.5	0	0.5	0.56
5	0.5	0.5	1	0.14
6	0.5	1	0	0.96
7	1	0	1	0.08
8	1	0.5	0	1
9	1	1	0.5	0.58

Dimana :

- A = Temperatur *hardening*
 B = Waktu tahan *hardening*
 C = Temperatur *tempering*
 \bar{y} = Rata-rata kekerasan

b. Perancangan Struktur Jaringan

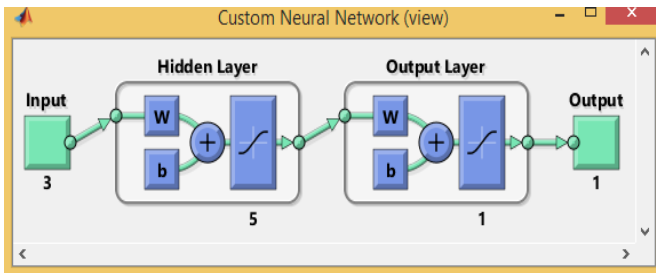
Pengolahan data menggunakan *nntool* dengan data yang sudah dinormalisasi dimasukkan ke dalam *nntool*. Fungsi aktivasi yang digunakan pada lapisan tersembunyi yaitu *sigmoid biner* (tansig), sedangkan pada lapisan *output* menggunakan fungsi aktivasi *linier* (purelin). Pengaturan jaringan *feedforward neural network* dengan menggunakan algoritma *backpropagation* ditunjukkan pada Gambar 4.30.



The screenshot shows the 'Create Network or Data' dialog box with the 'Data' tab active. The network is named 'training'. The 'Network Properties' section is configured as follows: Network Type is 'Feed-forward backprop'; Input data is 'input'; Target data is 'output'; Training function is 'TRAINLM'; Adaption learning function is 'LEARNGDM'; Performance function is 'MSE'; and Number of layers is '2'. The 'Properties for: Layer 1' section shows 'Number of neurons' as '5' and 'Transfer Function' as 'TANSIG'. At the bottom, there are buttons for 'View', 'Restore Defaults', 'Help', 'Create', and 'Close'.

Gambar 4.30 Pengaturan Arsitektur Jaringan *Neural Network*

Berdasarkan pengaturan pada Gambar 4.30 didapatkan arsitektur jaringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.31 dimana lapisan *input* dengan 3 *neuron*, lapisan *hidden layer* dengan 5 *neuron* dan satu lapisan *output* dengan satu *neuron*.



Gambar 4.31 Arsitektur Jaringan *Neural Network*

Menurut Kusuma Dewi (2004) parameter pembelajaran yang digunakan dengan trainingdx adalah:

- Maksimum epoch = 10.000
- Toleransi error = 0,01
- Learning rate (α) = 0,5
- Jumlah Iterasi = 1000

c. Pemilihan Struktur Jaringan Optimum

Setelah melakukan perancangan struktur jaringan, dilakukan proses *training* data yang digunakan NN untuk membentuk sebuah pola. Dalam proses *training* di sini NN akan bermain dengan menaik turunkan bobot disetiap *neuron*nya. Setelah proses pelatihan dilakukan proses pengujian dengan menguji prestasi pelatihan melalui nilai koefisien korelasi (R^2). Pola jaringan yang dipilih ketika nilai R^2 di atas 0.9. *Training* dilakukan sebanyak 50 kali.

d. *Postprosesing*/ Denormalisasi

Data yang diperoleh dari hasil pelatihan dan data syang telah dinormalisasi pada akhirnya akan dilakukan denormalisasi dengan rumus pada Persamaan 4.2 .

$$D = H \times (D_{max} + D_{min}) + D_{min} \quad (4.2)$$

Keterangan:

- D = Data hasil denormalisasi
H = Data hasil output neural network
 D_{max} = Data eksperimen maksimum



D_{min} = Data eksperimen minimum

Setelah dilakukan denormalisasi kemudian nilai hasil pelatihan dibandingkan dengan hasil eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.46.

Tabel 4.46 Perbandingan Data Hasil Eksperimen dan Pelatihan

No	A (°C)	B (menit)	C (°C)	Rata-rata Kekerasan		MSE
				Eksperimen	NN	
1	830	30	510	30,6	30,43	0,033754
2	830	45	530	27,6	27,44	0,030497
3	830	60	550	26	26,11	0,022579
4	850	30	530	28,8	28,81	0,00298
5	850	45	550	26,7	26,56	0,026317
6	850	60	510	30,8	30,68	0,000899
7	870	30	550	26,4	26,58	0,03218
8	870	45	510	31	30,82	0,002056
9	870	60	530	28,9	29,12	-0,2101

Keterangan:

A = Temperatur *hardening*

B = Waktu tahan *hardening*

C = Temperatur *tempering*

4.3.2 Penentuan Level Optimum

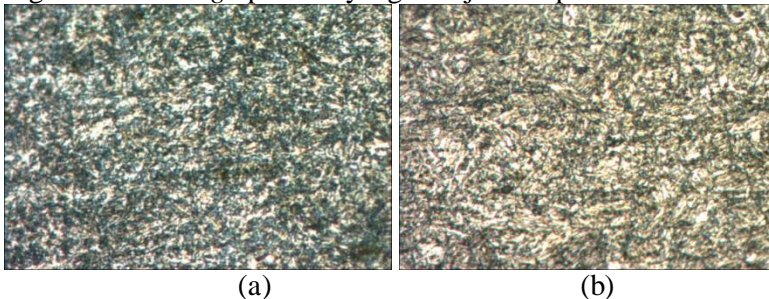
Adapun penentuan level optimum berdasarkan output nilai kekerasan mendekati nilai 27 HRC terbanyak selama 50 kali proses pelatihan. Hasil 50 kali pelatihan untuk 27 eksperimen terdapat pada lampiran. Adapun level optimum dicapai pada eksperimen 5 dengan kombinasi temperatur *hardening* 820;840;840;850°C dengan waktu tahan 45 menit dan temperatur *tempering* pada 530;550;550 °C, hal ini karena dibandingkan dengan 27 eksperimen hasil pelatihan pada eksperimen 5 memiliki nilai *output* mendekati 27 HRC paling banyak yakni 35 kali dari 50 pelatihan. Walaupun secara rata-rata kekerasan hasil pelatihan pada eksperimen 7,11,17,21,25 dan 27 menunjukkan



hasil mendekati nilai 27 HRC namun tidak dapat dikatakan sebagai level optimum hal ini karena pola nilai kekerasan pada 50 kali pelatihan tidak teratur dibandingkan dengan eksperimen 5 yang cenderung stabil.

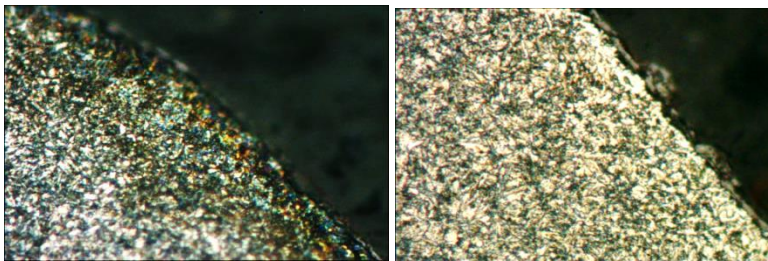
4.4 Perbandingan *Setting* Reguler dengan *Setting* Optimum

Berdasarkan desain eksperimen dan pengolahan data dengan metode karakteristik *nominal is best* dan metode *neural network*, dimana menggunakan respon berupa kekerasan dengan target nilai kekerasan pada 27 HRC didapatkan level optimum pada kombinasi A_2 , B_2 dan C_3 yakni dengan temperatur *hardening* 820; 840; 840; 850°C, waktu tahan 45 menit dan temperatur *tempering* 530; 550; 550°C. Hal ini menimbulkan beberapa perbedaan dengan *setting* proses *heat treatment* reguler. Berikut perbandingan mikrostruktur produk *fastener* pada bagian *body* dari *setting* reguler dan *setting* optimum yang ditunjukkan pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30 Mikrostruktur *Tempered Martensite Body Fastener*
Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) *setting* reguler, (b) *setting* optimum

Sementara pada Gambar 4.31 menunjukkan perbandingan mikrostruktur produk *fastener* pada bagian *body* dari *setting* reguler dan *setting* optimum.



(a)

(b)

Gambar 4.31 Mikrostruktur Mikrostruktur *Tempered Martensite* ulir *Fastener* Perbesaran 500x Etsa Nital 3% (a) *setting* reguler, (b) *setting* optimum

Berdasarkan Gambar 4.30, mikrostruktur untuk bagian body *fastener* pada *setting* optimal menunjukkan fasa *tempered martensite* secara keseluruhan begitu pula dengan bagian body *fastener* pada setting reguler sesuai dengan standard HES D3211-99A hal ini juga ditunjukkan dengan hasil uji SEM. Selain itu pada Gambar 4.31, untuk mikrostruktur pada bagian ulir *fastener* pada *setting* optimal juga menunjukkan bahwa keseluruhan ulir sudah terkena perlakuan secara merata sehingga fasa pada ulir adalah *tempered martensit*. Pada bagian ulir *fastener* dengan *setting* optimal tidak terdapat fasa *ferrite* yang tersisa ataupun *heigh of part not decarburized*. Sesuai dengan fasa pada ulir setting reguler yang juga sepenuhnya *tempered martensit*. Sehingga, walaupun pada *setting* optimal memiliki temperatur *hardening* yang lebih rendah dan waktu tahan *hardening* yang lebih singkat daripada *setting* reguler, namun secara mikrostruktur, pada *setting* optimal bagian *body* dan *ulir* sudah terkena perlakuan secara merata dan fasa keseluruhan berupa *tempered martensit*.

Penentuan *setting* level optimum sangat penting untuk mengetahui temperatur pemanasan yang sesuai sehingga menghasilkan mikrostruktur yang seragam. Pada setting level optimum dengan temperatur pemanasan 820; 840; 840; 850°C, energi panas sudah mampu merubah butir *austenit* menjadi lebih besar serta besar butir *austenit* akan seragam. Sehingga hasil akhir



produk pada level optimum akan memiliki kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik. Sementara pada temperatur pemanasan yang lebih tinggi, butir-butir *austenit* akan tumbuh menelan tetangganya sehingga ukuran butir menjadi lebih besar (Thelning, 1978)

Dengan meningkatnya kualitas produk pada setting level optimum maka akan meningkatkan keamanan dan umur produk *fastener* saat digunakan oleh konsumen.

Sementara pada proses *tempering* digunakan untuk menghilangkan tegangan sisa, meningkatkan ketangguhan dan keuletan yang telah hilang atau berkurang selama proses pengerasan. Selama *tempering* berlangsung akan terjadi perubahan fasa sesuai dengan temperatur proses laku panasnya. Setelah melalui proses *temper* baja akan memiliki struktur *ferit* dengan partikel *sementit* yang terdistribusi pada matriksnya. Pada temperatur *temper* yang lebih tinggi, *martensit* akan tereliminasi dan kemudian terbentuk *tempered martensit* yang mengandung karbon rendah dengan partikel karbida halus (karbida *spheroid*). Karbida *spheroid* halus ini akan tumbuh membentuk karbida *spheroid* yang lebih besar pada temperatur yang lebih tinggi. Pada temperatur yang lebih tinggi fraksi fasa lunak dan ulet akan bertambah yang diikuti dengan membesarnya ukuran partikel karbida. (Thelning, 1978)

Maka dari itu, dibutuhkan temperatur *tempering* yang sesuai untuk mendapatkan kombinasi fasa lunak dan keras yang tepat untuk mendapatkan kekerasan senilai 27 HRC. Berdasarkan hasil eksperimen, dengan temperatur *tempering* 530;550;550°C dapat menghasilkan nilai kekerasan yang sesuai sehingga produk memiliki kualitas yang baik.

Selain itu, dengan penentuan level optimum pada temperatur *hardening* 820;840;840;850°C waktu tahan 45 menit dan temperatur *tempering* 530;550;550°C juga dapat memberikan keuntungan secara ekonomis. Hal ini terlihat dari adanya penurunan penggunaan temperatur pada proses *hardening* yakni 20°C pada setiap zona dan penurunan waktu proses *hardening*

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



selama 15 menit dibandingkan pada setting level reguler. Berikut perbandingan perhitungan biaya produksi untuk listrik pada setting regular dan optimal.

a. Perhitungan biaya level reguler

Dengan menggunakan Cp baja karbon senilai 450 J/kg°C, massa produk 1000 kg, temperatur awal produk *fastener* 50°C dan temperatur *hardening* pada setiap zona nya yakni 840;860;860;870°C maka kebutuhan panas untuk setiap zona pada proses *hardening* sebagai berikut:

- Zona 1

$$\begin{aligned} Q &= m. Cp. \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg. } 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } (840-50^\circ\text{C}) \\ &= 355.500.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana 1 W.h = 3600 Joule dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni Rp. 1472 sehingga,

$$\text{Daya} = 355.500.000/3600 \text{ joule} = 98750 \text{ W.h} = 98,750 \text{ kwh}$$

$$\text{Biaya} = 98,750 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 145.380$$

- Zona 2

$$\begin{aligned} Q &= m. Cp. \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg. } 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } (860-840^\circ\text{C}) \\ &= 9.000.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana 1 W.h = 3600 Joule dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni Rp. 1472 sehingga,

$$\text{Daya} = 9.000.000/3600 \text{ joule} = 2500 \text{ W.h} = 2,5 \text{ kwh}$$

$$\text{Biaya} = 2,5 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 3680$$

- Zona 3

Pada zona 3 tidak terjadi kenaikan temperatur.

- Zona 4

$$\begin{aligned} Q &= m. Cp. \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg. } 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } (870-860^\circ\text{C}) \\ &= 4.500.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana 1 W.h = 3600 Joule dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni Rp. 1472 sehingga,

$$\text{Daya} = 4.500.000/3600 \text{ joule} = 1250 \text{ W.h} = 1,25 \text{ kwh}$$



Biaya = $1,25 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 1840$

Sementara untuk proses *tempering*, menggunakan Cp baja karbon senilai $450 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, massa produk 1000 kg , temperatur awal produk *fastener* 75°C dan temperatur *tempering* pada setiap zona nya yakni $530;550;550^\circ\text{C}$ maka kebutuhan panas untuk setiap zona pada *tempering* sebagai berikut:

- Zona 1

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg} \cdot 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (530-75^\circ\text{C}) \\ &= 204.750.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana $1 \text{ W.h} = 3600 \text{ Joule}$ dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni $\text{Rp. } 1472$ sehingga,

$$\text{Daya} = 204.750.000 / 3600 \text{ joule} = 56875 \text{ W.h} = 56,875 \text{ kwh}$$

$$\text{Biaya} = 56,875 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 83.720$$

- Zona 2

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg} \cdot 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (550-530^\circ\text{C}) \\ &= 9.000.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana $1 \text{ W.h} = 3600 \text{ Joule}$ dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni $\text{Rp. } 1472$ sehingga,

$$\text{Daya} = 9.000.000 / 3600 \text{ joule} = 2500 \text{ W.h} = 2,5 \text{ kwh}$$

$$\text{Biaya} = 2,5 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 3680$$

- Zona 3

Pada zona 3 tidak terjadi kenaikan temperatur.

Maka dari keseluruhan proses membutuhkan biaya produksi sebagai berikut:

$$\text{Total} : \text{Rp. } 145.380 + \text{Rp. } 3680 + \text{Rp. } 1840 + \text{Rp. } 83.720 + \text{Rp. } 3680 = \text{Rp. } 238.280$$

$$\text{Dengan target per hari } 25 \text{ kali proses maka } \text{Rp. } 238.280 \times 25 = \text{Rp. } 5.957.000/\text{hari}$$

$$\text{Sehingga biaya produksi untuk per bulan sebesar } \text{Rp. } 5.957.000 \times 30 = \text{Rp. } 178.710.000/\text{bulan}$$



b. Perhitungan biaya level optimum

Dengan menggunakan C_p baja karbon senilai $450 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, massa produk 1000 kg , temperatur awal produk *fastener* 50°C dan temperatur *hardening* pada setiap zona nya yakni $820;840;840;850^\circ\text{C}$ maka kebutuhan panas untuk setiap zona pada *hardening* sebagai berikut:

- Zona 1

$$\begin{aligned} Q &= m. C_p. \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg. } 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } (820-50^\circ\text{C}) \\ &= 346.500.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana $1 \text{ W.h} = 3600 \text{ Joule}$ dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni Rp. 1472 sehingga,

$$\text{Daya} = 346.500.000/3600 \text{ joule} = 96250 \text{ W.h} = 96,250 \text{ kwh}$$

$$\text{Biaya} = 96,250 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 141.680$$

- Zona 2

$$\begin{aligned} Q &= m. C_p. \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg. } 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } (840-820^\circ\text{C}) \\ &= 9.000.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana $1 \text{ W.h} = 3600 \text{ Joule}$ dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni Rp. 1472 sehingga,

$$\text{Daya} = 9.000.000/3600 \text{ joule} = 2500 \text{ W.h} = 2,5 \text{ kwh}$$

$$\text{Biaya} = 2,5 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 3680$$

- Zona 3

Pada zona 3 tidak terjadi kenaikan temperatur.

- Zona 4

$$\begin{aligned} Q &= m. C_p. \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg. } 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } (850-840^\circ\text{C}) \\ &= 4.500.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana $1 \text{ W.h} = 3600 \text{ Joule}$ dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni Rp. 1472 sehingga,

$$\text{Daya} = 4.500.000/3600 \text{ joule} = 1250 \text{ W.h} = 1,25 \text{ kwh}$$

$$\text{Biaya} = 1,25 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 1840$$

Sementara untuk proses *tempering*, menggunakan menggunakan C_p baja karbon senilai $450 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, massa produk 1000 kg , temperatur awal produk *fastener* 75°C dan temperatur



tempering pada setiap zona nya yakni 530;550;550°C maka kebutuhan panas untuk setiap zona pada *tempering* sebagai berikut:

- Zona 1

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg} \cdot 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (530-75^\circ\text{C}) \\ &= 204.750.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana 1 W.h = 3600 Joule dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni Rp. 1472 sehingga,

$$\text{Daya} = 204.750.000/3600 \text{ joule} = 56875 \text{ W.h} = 56,875 \text{ kwh}$$

$$\text{Biaya} = 56,875 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 83.720$$

- Zona 2

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 1000 \text{ kg} \cdot 450 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (550-530^\circ\text{C}) \\ &= 9.000.000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana 1 W.h = 3600 Joule dan biaya per 1 kwh menurut PLN yakni Rp. 1472 sehingga,

$$\text{Daya} = 9.000.000/3600 \text{ joule} = 2500 \text{ W.h} = 2,5 \text{ kwh}$$

$$\text{Biaya} = 2,5 \text{ kwh} \times 1472 = \text{Rp. } 3680$$

- Zona 3

Pada zona 3 tidak terjadi kenaikan temperatur.

Maka dari keseluruhan proses membutuhkan biaya produksi sebagai berikut:

$$\text{Total : Rp. } 141.680 + \text{Rp. } 3680 + \text{Rp. } 1840 + \text{Rp. } 83.720 + \text{Rp. } 3680 = \text{Rp. } 234.600$$

$$\text{Dengan target per hari 25 kali proses maka } \text{Rp. } 234.600 \times 25 = 5.865.000/\text{hari}$$

$$\text{Sehingga biaya produksi untuk per bulan sebesar } \text{Rp. } 5.865.000 \times 30 = 175.950.000/\text{bulan}$$

Maka dengan adanya level optimum dapat menghemat biaya produksi sebesar $\text{Rp. } 178.710.000 - \text{Rp. } 175.950.000 = \text{Rp. } 2.760.000/\text{bulan}$



4.4 Pembahasan

Berdasarkan studi literatur dan lapangan yang telah dilakukan maka ditentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses *heat treatment* produk *fastener* yakni temperatur *hardening*, waktu tahan *hardening* dan temperatur *tempering*. Setelah itu dilakukan penentuan level dari setiap faktor. Untuk temperatur *hardening* levelnya adalah sebagai berikut 800;820;820;830°C, 820;840;840;850°C, 840;860;860;870°C. Pada waktu tahan *hardening* levelnya terdiri dari 30 menit, 45 menit dan 60 menit. Sementara untuk temperatur *tempering* didapatkan level sebagai berikut 490;510;510°C, 510;530;530°C, 530;550;550°C. Sehingga berdasarkan faktor dan level yang telah ditentukan, matriks *orthogonal array* yang digunakan pada metode taguchi ini adalah L_9 dengan desain eksperimen seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.41.

Tabel 4.41 Matriks *Orthogonal* L_9

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Setelah dilakukan eksperimen berdasarkan matriks *orthogonal array* pada Tabel 4.41, dilakukan pengujian terhadap produk *fastener* pada setiap eksperimen. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kekerasan, mikrostruktur dan uji tarik. Hasil pengujian menunjukkan produk *fastener* pada keseluruhan eksperimen memenuhi standard HES D3211-99A sehingga



dilanjutkan dengan analisa data hasil pengujian dimana respons yang digunakan berupa nilai kekerasan.

Menurut standard HES D3211-99A nilai rentang kekerasan yakni 22-32 HRC maka target kekerasan yang ingin diperoleh sebesar 27 HRC dengan menggunakan analisa metode taguchi karakteristik *nominal is best*, yakni semakin mendekati nilai kekerasan 27 HRC maka akan semakin bagus kualitas produk *fastener* tersebut. Perhitungan dilakukan berdasarkan rata-rata kekerasan yang diperoleh dan berdasarkan nilai *S/N ratio* setiap eksperimen. Selain itu juga digunakan metode *neural network* untuk mengetahui level optimum dimana hasil eksperimen digunakan sebagai pelatihan, sementara nilai kekerasan kombinasi parameter yang belum terdapat pada eksperimen akan diketahui berdasarkan pola dari pelatihan sebelumnya. Pada *neural network*, level optimum dicapai berdasarkan hasil *output* nilai kekerasan selama 50 kali pelatihan. Eksperimen yang paling banyak memiliki nilai *output* kekerasan mendekati 27 HRC merupakan level optimal.

Hasil nilai rata-rata kekerasan dengan analisa metode taguchi didapatkan bahwa urutan faktor yang paling mempengaruhi kekerasan adalah temperatur *tempering*, temperatur *hardening*, dan waktu tahan *hardening*. Dengan perhitungan ANOVA, pada temperatur *tempering* mempengaruhi nilai kekerasan sebanyak 94,43%, temperatur *hardening* sebanyak 2,049% dan waktu tahan *hardening* sebanyak 0,97%. Selain itu dengan analisa metode taguchi didapatkan kombinasi level pada setiap faktor untuk mendapatkan nilai kekerasan maksimum pada A_2, B_1, C_1 yaitu temperatur *hardening* pada 820;840;840;850°C ditahan selama 30 menit dan temperatur *tempering* pada 490;510;510°C atau A_3, B_1, C_1 yaitu temperatur *hardening* pada 840;860;860;870°C ditahan selama 30 menit dan temperatur *tempering* pada 490;510;510°C.

Sementara dengan perhitungan *S/N Ratio* untuk mendapatkan level optimal dengan target nilai kekerasan 27 HRC menggunakan karakteristik *nominal is best* didapatkan bahwa

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



urutan faktor yang paling berpengaruh yakni temperatur *tempering*, waktu tahan *hardening* dan temperatur *hardening*. Dengan perhitungan ANOVA, didapatkan bahwa temperatur *tempering* mempengaruhi 68,85%, waktu tahan *hardening* sebanyak 6,8% dan temperatur *hardening* sebanyak 5,538%. Adapun kombinasi level optimum yang didapatkan pada A₂, B₂, C₃ yaitu temperatur *hardening* pada 820;840;840;850°C ditahan selama 45 menit dan temperatur *tempering* pada 510;530;530°C. Kombinasi level optimum A₂, B₂, C₃ diprediksi memiliki nilai kekerasan 26.51 HRC. Hal ini didukung dengan hasil analisa menggunakan *neural network* dimana selama 50 kali pelatihan kombinasi temperatur *hardening* pada 820;840;840;850°C ditahan selama 45 menit dan temperatur *tempering* 510;530;530°C memiliki nilai output mendekati 27 HRC paling banyak yakni 35 kali.

Dari perhitungan berdasarkan nilai rata-rata kekerasan dan *S/N Ratio* didapatkan faktor paling berpengaruh yakni temperatur *tempering*. Hal ini karena produk *fastener* yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan kurang cocok digunakan. Melalui proses *tempering*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan. Proses *tempering* terdiri dari pemanasan kembali produk *fastener* yang telah dipanaskan atau dikeraskan pada temperatur di bawah temperatur kritis disusul dengan pendinginan. *Temper* dimungkinkan oleh karena sifat struktur martensit yang tidak stabil. Struktur logam yang tidak stabil tidak berguna untuk tujuan penggunaan, karena dapat mengakibatkan pecah. Dengan penemperan, tegangan dan kegetasan diperlunak dan kekerasan sesuai dengan penggunaan. Ketinggian temperatur penemperan dan waktu penghentian benda kerja tergantung pada jenis baja dan kekerasan yang dikehendaki. Sebagai pedoman berlaku, bahwa benda kerja ditemper sejauh tercapainya keuletan setinggi-tingginya pada kekerasan yang memadai. Semakin tinggi temperatur penemperan dan semakin lama didiamkan pada temperatur ini (lama penemperan), semakin banyak terbentuk *martensit*, kekerasan akan menjadi lebih rendah,

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



keuletan bertambah dan tegangan berkurang. Pada waktu penemperan warnanya masing-masing berubah menurut temperatur (kuning terang hingga kelabu). (Schonmetz,1985)

Untuk faktor berpengaruh kedua terdapat perbedaan antara perhitungan berdasarkan rata-rata kekerasan dengan perhitungan *S/N Ratio*. Berdasarkan nilai rata-rata kekerasan, faktor berpengaruh kedua yakni temperatur *hardening*. Hal ini karena temperatur amat berpengaruh dalam penentuan kekerasan dari suatu material, karena dengan terjadinya perubahan temperatur, maka terjadi pula perubahan struktur butiran di dalam material itu sendiri. Perubahan struktur ini tentu saja dapat mengakibatkan perubahan sifat mekanis dari suatu material, salah satunya adalah perubahan sifat kekerasannya. Semakin tinggi temperatur yang diberikan pada saat perlakuan panas terhadap suatu material, maka kekerasan yang dimilikinya akan semakin berkurang, dan demikian pun sebaliknya, apabila temperatur dari suatu material semakin rendah, maka kekerasan yang dimilikinya pun akan semakin bertambah. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan struktur yang dialami ketika terjadi perubahan temperatur. (Dieter,1987)

Sedangkan pada faktor ketiga yang berpengaruh pada kekerasan menurut nilai rata-rata kekerasan adalah waktu tahan *hardening*. Semakin lama waktu tahan tersebut maka kekerasan butir *austenit* akan semakin menurun. Hal itu dapat dipahami karena semakin lama waktu penahanan membuat paduan/element lebih terlarut secara homogen sehingga memungkinkan dislokasi-dislokasi yang terjadi pada proses sebelumnya terlepas/terurai dari butir/batas butir, dimana unsur paduan yang menahan terurainya garis-garis dislokasi tersebut sudah terlarut atau tersebar lebih merata. (Schonmetz,1985)

Pada faktor berpengaruh terhadap nilai rata-rata kekerasan ditunjukkan bahwa waktu tahan *hardening* merupakan faktor berpengaruh ketiga hal ini karena perhitungan nilai rata-rata kekerasan menghasilkan kombinasi level setiap faktor untuk mencapai kekerasan maksimum sehingga untuk memperoleh hal

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



tersebut dibutuhkan waktu tahan yang singkat untuk mencegah paduan/elemen tersebut larut secara homogen. Sementara pada faktor berpengaruh terhadap *S/N Ratio* untuk level optimum, waktu tahan *hardening* merupakan faktor berpengaruh kedua hal ini karena untuk mencapai kekerasan 27 HRC dibutuhkan waktu tertentu sehingga dislokasi-dislokasi dapat terurai dan pada akhirnya mendapatkan nilai kekerasan yang diinginkan.

Pengamatan secara mikrostruktur pada setting level optimum dan regular menunjukkan keseluruhan mikrostruktur pada ulir dan *body fastener* adalah *tempered martensit* hal ini sesuai dengan standard HES D3211-99A. Sehingga, walaupun pada *setting* optimal memiliki temperatur *hardening* yang lebih rendah dan waktu tahan *hardening* yang lebih singkat daripada *setting* regular, namun secara mikrostruktur, pada setting optimal bagian *body* dan *ulir* sudah terkena perlakuan secara merata dan fasa keseluruhan berupa *tempered martensit*.

Penentuan setting level optimum sangat penting selain untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respons yang ditentukan juga untuk dapat menemukan kombinasi yang tepat pada setiap faktor untuk mencapai target yang diinginkan. Pada proses *hardening*, perlu diketahui temperatur yang tepat untuk mendapatkan keseluruhan butir *austenit* yang seragam. Pada setting level optimum dengan temperatur pemanasan 820; 840; 840; 850°C, energi panas sudah mampu merubah butir *austenite* menjadi lebih besar serta besar butir *austenit* akan seragam. Sehingga hasil akhir produk pada level optimum akan memiliki kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik. Selain itu juga dibutuhkan waktu tahan *hardening* yang tepat sehingga dislokasi-dislokasi dapat terurai. Untuk proses *tempering* juga diperlukan temperatur *tempering* yang sesuai untuk mendapatkan kombinasi fasa lunak dan keras yang tepat untuk mendapatkan kekerasan senilai 27 HRC.

Adanya level optimum ini pada kombinasi temperatur *hardening* 820;840;840;850°C ditahan selama 45 menit dan temperatur *tempering* pada 510;530;530°C juga memberikan



keuntungan dalam waktu proses *heat treatment* dan biaya proses *heat treatment*. Dimana dengan level optimum lebih singkat 15 menit dibanding untuk proses dengan setting regular. Biaya proses *heat treatment* dengan setting optimum juga dapat terjadi penurunan sebesar Rp. 2.760.000/bulan. Hal ini dilihat dari estimasi biaya listrik untuk setting regular sebesar Rp. 178.710.000/bulan sementara untuk setting optimal sebesar Rp 175.950.000 /bulan.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil uji dan pengolahan data yang telah dilakukan pada penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Urutan faktor yang berpengaruh terhadap kekerasan produk *fastener* yang telah melalui proses *heat treatment* yakni temperatur *tempering*, temperatur *hardening* dan waktu tahan *hardening*. Adapun temperatur *tempering* mempengaruhi sebanyak 94,43%, temperatur *hardening* sebanyak 2,049% dan waktu tahan *hardening* sebanyak 0.97%
2. Level optimum proses *heat treatment* dicapai dengan kombinasi temperatur *hardening* pada 820;840;840;850°C dengan waktu tahan *hardening* 45 menit dan temperatur *tempering* 510;530;530°C. Adapun dengan kombinasi level demikian, prediksi nilai kekerasan yang akan diperoleh sebesar 26,51 HRC. Estimasi pengurangan biaya yang dapat diperoleh sekitar Rp. 2.760.000/bulan.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Penerapan level optimum perlu diikuti dengan *maintenance* mesin *heat treatment* yang teratur sehingga kondisi mesin dapat menunjang proses *heat treatment* yang ada.
2. Pengurangan biaya proses *heat treatment* dapat efektif bila didukung oleh faktor internal seperti kondisi mesin dan faktor eksternal seperti *planning* produksi dan sumber daya manusia.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____.2013. **Honda Engineering Standards (HES) D3211-99A Mechanical Properties of Steel Bolts and Screws**. Japan:Honda Engineering Co.Ltd
- Aggarwal, A., Singh, H., Kumar, P., Singh, M., 2008. **Optimizing power consumption for CNC turned parts using response surface methodology and Taguchi's technique - A comparative analysis**. Journal of Materials Processing Technology, 200, 373-384.
- Akhbari,M. 2014. **Artificial Neural Network and Optimization**. Iran University of Science and Technology.
- Amanto, H. 1999. **Ilmu Bahan**. Jakarta: Bumi Aksara
- Amri.2008. **Analisa Pengendalian Kualitas Produk Dengan Metode Taguchi Pada CV Setia Kawan**. Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi, 257-266.
- Amstead, B. H., dan Djaprie, S. 1997. **Teknologi Mekanik Edisi ke-7**.Jakarta:Erlangga
- Avner, S. H. 1974. **Introduction to Physical Metalurgy**.New York: Mc Graw-Hill Book Company
- Chang, Chin- Chun. 2010. **Optimization of Heat Treatment Parameters with The Taguchi Method for The A7050 Alumunium Alloy**. IACSIT International Journal of Engineering and Technology,Vol 2, No 3.
- Didik Wahyudi, Gan Shu San.2001. **Optimasi Proses Injeksi Dengan Metode Taguchi**. Jurnal Teknik Mesin Vol 3, 24-28.
- Dietser, George E, Sriatie Djaprie. 1987. **Metalurgi Mekanik Jilid 1 Edisi Ketiga**. Jakarta: Erlangga
- Do, The-Vinh. 2016. **Optimization of Minimum Quantity Lubricant Conditions and Cutting Parameters in Hard Milling of H13 Steel**. Journals of Applied Science, 83.

- Evan, James. 2007. **An Introduction to Six Sigma and Process Improvement**. Singapore: Thomson
- Han, LZ., Li, C.W., QD, Liu. 2016. **Effect of Tempering Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of A Reactor Pressure Vessel**. Journal of Nuclear Material, 477, 246-256.
- Higgins, R. A. 1999. **Engineering Metallurgy, Part I, Applied Physical Metallurgy Six Edition**. London: Arnold
- Iriawan, N dan Astuti S.P. 2006. **Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14**. Yogyakarta : ANDI
- Kawaguchi, Kiyoshi. 2000. **A Multithreaded Software Model For Backpropagation Neural Network Applications**. Texas: Departement of Electrical and Computer Engineering
- Kayambi, Ata., Amiri, Meisam Sheikh. 2010. **Spheroidizing Kinetics and Optimization of Heat Treatment Parameter in CK60 Steel Using Taguchi Robust Design**. Journal of Iron and Steel Research International 17,45-52.
- Kumar, Ajay. 2016. **Heat Treatment Parameters Optimization Using Taguchi Technique**. International Journal of Scientific Research and Education, Vol 4, No. 10, 5965-5974.
- Kumar, Palguna. 2014. **Optimization of Heat Treatment Parameters for The A2024 Aluminium Alloy Using Taguchi Orthogonal Array's Approach**. Journal of Advanced Engineering and Innovative Technology, Vol 1, No.3.
- Mandal, N., Doloi, B., Mondal, B., Das, R., 2011. **Optimization of Flank Wear Using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) Cutting Tool: Taguchi method and Regression Analysis**. Measurement, 44, 2149-2155.
- Manivel, D., Gandinathan, R. 2016. **Optimization of surface roughness and tool wear in hard turning of**

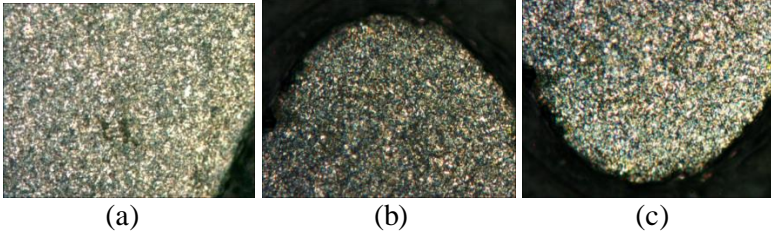
- austempered ductile iron (grade 3) using Taguchi method.** Measurement ,93, 58-73
- Mehata, N.M., Kamaruddin, S., 2011. **Optimization of Mechanical Properties of Recycled Plastic Products Via Optimal Processing Parameters Using the Taguchi Method**, Journal of Materials Processing Technology, 211, 1989-1994.
- Montgomery, Douglas.2001. **Design and Analysis of Experiments**.New York : John Wiley&Sons, Inc
- Narang, B.S. 1982. **Material Science**. New Delhi : CBS
- Ross, Phillip J. 1996.**Taguchi Techniques for Quality Engineering 2ND Edition**. New York : John Wiley&Sons, Inc
- Roy, Ranjit K. 2001. **Design of Experiments Using The Taguchi Approach**.New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Schonmetz, dan Gruber, A. K. 1985. **Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam**. Bandung : Aksara
- Smallman, R. E. and Bishop, R. J.2000. **Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering**. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Surdia, Tata dan Kenji Chiniwa. 1996. **Pengetahuan Bahan Teknik**. Jakarta: Pradya Paramita
- Taguchi, Genichi., Chowdhury, Subir., Taguchi Shin.2001. **Robust Engineering**.New York: Mc.Graw-Hill.
- Thehning,K.E. 1984. **Steel and Its Heat Treatment Second Edition**. Newyork: Butterworth
- Unal, Resit., Dean, Edwin. 1991.**Taguchi Approach to Design Optimization for Quality and Cost**. An Overview, International Conference of Society of Parametric Analysis.
- Vlack, V. 1992. **Ilmu dan Teknologi Bahan**.Jakarta: Erlangga
- Wang, C.C., Chow, H.M., Yang, L.D., Lu, C.T. 2009. **Recast Layer Removal After Electrical Discharge Machining via Taguchi Analysis: A feasibility study**.

- Journal of Materials Processing Technology, 209, 4134-4140.
- Yang, Chih-Cheng.2016. **Improvement of the Mechanical Properties of 1022 Carbon Steel Coil by Using The Taguchi Method to Optimize Spheroidized Annealing Condition.** Journal of Materials,693,1-9.
- Zainal, Khursiah. 2013. **An Oil Fraction Neural Sensor Developed Using Electrical Capacitance Tomography Sensor Data.** Journals of Sensors, 11385-11406.

LAMPIRAN

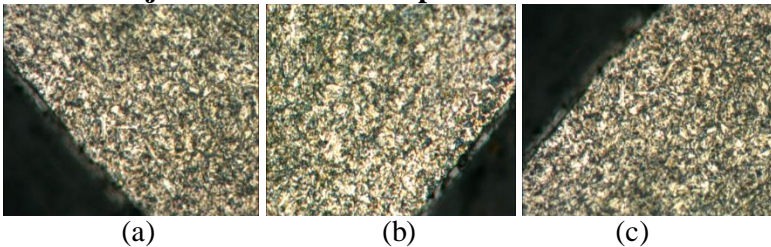
1. Hasil Uji Mikrostruktur

1.1 Hasil Uji Mikrostruktur Eksperimen 1



Gambar 1.1 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada U-lir Eksperimen 1 Perbesaran 200x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

1.2 Hasil Uji Mikrostruktur Eksperimen 2



Gambar 1.2 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada U-lir Eksperimen 2 Perbesaran 200x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

1.3 Hasil Uji Mikrostruktur Eksperimen 3



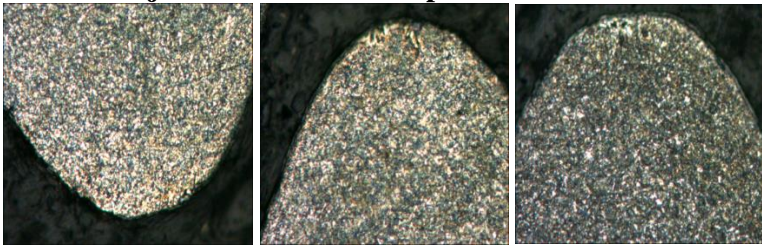
(a)

(b)

(c)

Gambar 1.3 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada U-lir Eksperimen 3 Perbesaran 200x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

1.4 Hasil Uji Mikrostruktur Eksperimen 4



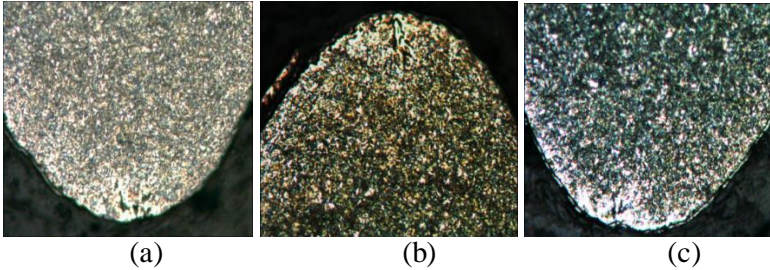
(a)

(b)

(c)

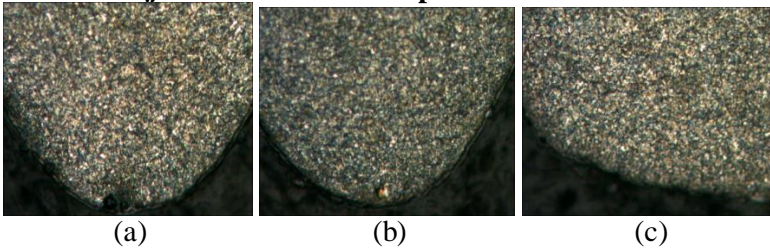
Gambar 1.4 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada U-lir Eksperimen 4 Perbesaran 200x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

1.5 Hasil Uji Mikrostruktur Eksperimen 5



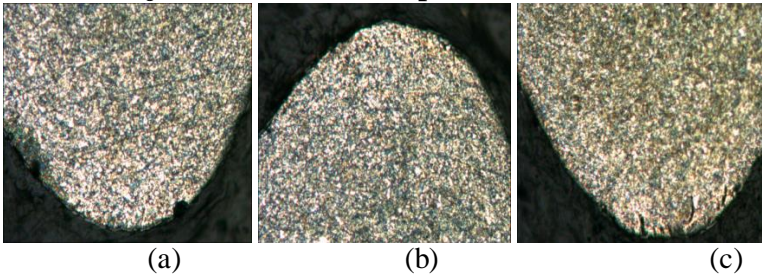
Gambar 1.5 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada U-lir Eksperimen 5 Perbesaran 200x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

1.6 Hasil Uji Mikrostruktur Eksperimen 6



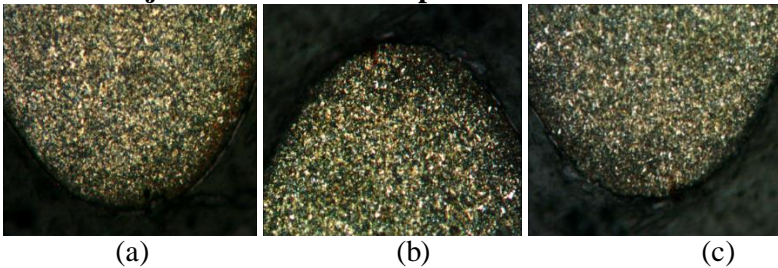
Gambar 1.6 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada U-lir Eksperimen 6 Perbesaran 200x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

1.7 Hasil Uji Mikrostruktur Eksperimen 7



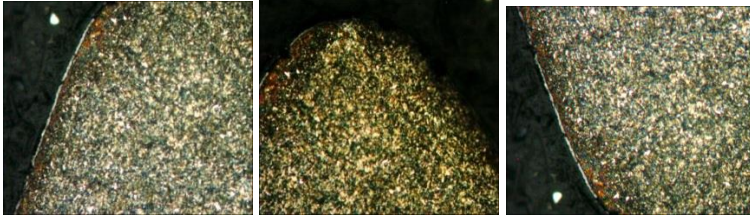
Gambar 1.7 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Uilir Eksperimen 7 Perbesaran 200x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

1.8 Hasil Uji Mikrostruktur Eksperimen 8



Gambar 1.8 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Uilir Eksperimen 8 Perbesaran 200x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

1.9 Hasil Uji Mikrostruktur Eksperimen 9



(a)

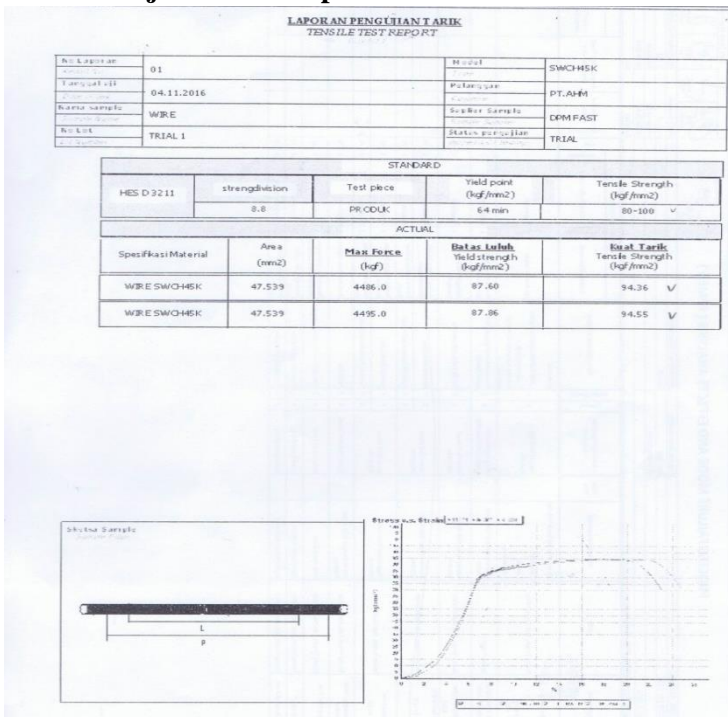
(b)

(c)

Gambar 1.9 Mikrostruktur *Tempered Martensite* Pada Ulir Eksperimen 9 Perbesaran 200x Etsa Nital 3% (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

2. Hasil Uji *Tensile*

2.1 Hasil Uji *Tensile* Eksperimen 1



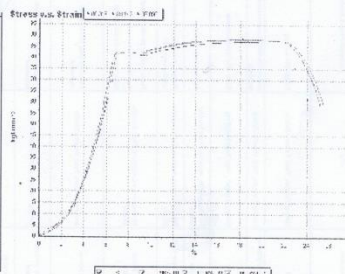
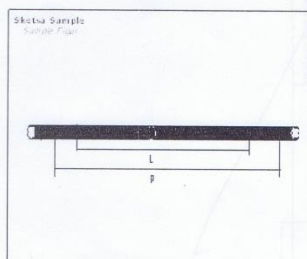
2.2 Hasil Uji *Tensile* Eksperimen 2

LAPORAN PENGUJIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

No Laporan	02	Model	SWCH5K
Tanggal Uji	04.11.2016	Pelanggan	PT.AHM
Uraian uji		Uraian	
Nama sample	WIRE	Supplier Sample	DPMFAST
Sample Number		Sample Number	
No Lot	TRIAL 2	Status pengujian	TRIAL
Lot Number		Shipment Of loading	

STANDARD				
HES D 3211	strengdivision	Test piece	Yield point (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
	8.8	PRODUK	64 min	80-100 ✓

ACTUAL				
Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Batas Luluh Yield strength (kgf/mm ²)	Kuat Tarik Tensile Strength (kgf/mm ²)
WIRE SWCH45K	47.417	4179.4	81.84	88.14 ✓
WIRE SWCH45K	47.417	4187.8	82.16	88.32 ✓



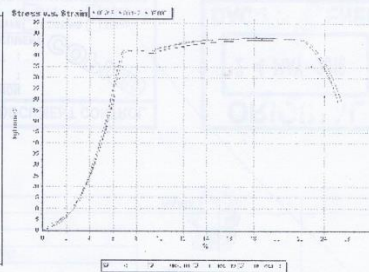
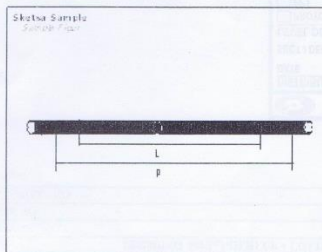
2.3 Hasil Uji *Tensile* Eksperimen 3

LAPORAN PENGUJIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

No Laporan	03	Model	SWCH45K
Amplas		Tempo	
Tanggal uji	04.11.2016	Pelaksanaan	PT.AHM
Date of test		Penelitian	
Nama sampel	WIRE	Supplier Sample	CPMFAST
Sample Name		Status Sampel	
No Lot	TRIAL 3	Status pengujian	TRIAL
Lot Number		Indikator Ujiending	

STANDARD				
HES D 3211	strengdivision	Test piece	Yield point (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
	0.8	PR COLK	64 min	80-100 ✓

ACTUAL				
Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Batas Luluh Yield strength (kgf/mm ²)	Kuat Tarik Tensile Strength (kgf/mm ²)
WIRE SWCH45K	47.417	3989.2	77.18	84.13 ✓
WIRE SWCH45K	47.417	3904.6	76.11	82.35 ✓

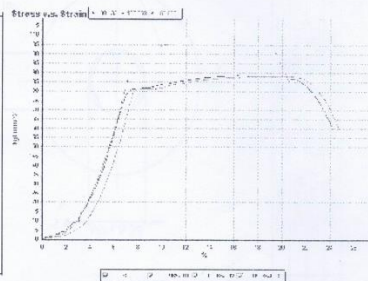
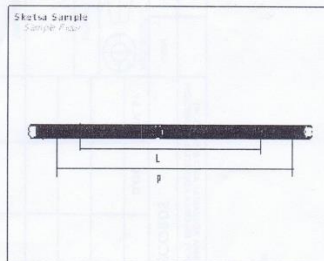


2.4 Hasil Uji *Tensile* Eksperimen 4

LAPORAN PENGUJIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

No Laporan Report No	04	Model	SWCH45K
Tanggal uji Date of Test	04.11.2016	Pelaksana Execution	PT.AHM
Nama sampel Sample Name	WIRE	Suplier Sampel Sample Supplier	DPMFAST
No Lot	TRIAL 4	Status pengujian Inspection Status	TRIAL

STANDARD				
HES D 3211	strengdivision	Test piece	Yield point (kgf/mm2)	Tensile Strength (kgf/mm2)
	8.8	PR CDLK	64 min	80-100 √
ACTUAL				
Spesifikasi Material	Area (mm2)	Max Force (kgf)	Batas Luluh Yield strength (kgf/mm2)	Kuat Tarik Tensile Strength (kgf/mm2)
WIRE SWCH45K	47.539	4204.0	81.28	88.43 √
WIRE SWCH45K	47.539	4186.4	81.19	88.06 √



2.5 Hasil Uji *Tensile* Eksperimen 5

LAPORAN PENGUJIAN TARIK

TENSILE TEST REPORT

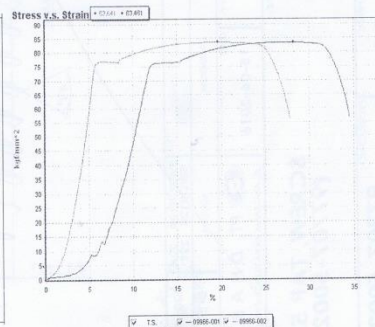
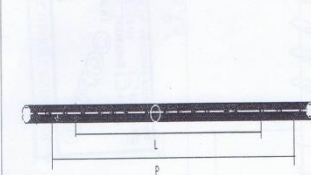
Page 1 of 1

No Laporan <i>Report No</i>	05	Model <i>Type</i>	SWCH45K
Tanggal uji <i>Date of test</i>	04.11.2016	Pelanggan <i>Customer</i>	PT.AHM
Nama sample <i>Sample Name</i>	WIRE	Suplier Sample <i>Sample Supplier</i>	DPM FAST
No Lot <i>Lot Number</i>	TRIAL 5	Status pengujian <i>propertis Of testing</i>	TRIAL

STANDARD				
HES D 3211	strengdivision	Test piece	Yield point (kgf/mm2)	Tensile Strength (kgf/mm2)
	8.8	PRODUK	64 min	80-100 ✓

ACTUAL				
Spesifikasi Material	Area (mm2)	Max Force (kgf)	Batas Luluh Yield strength (kgf/mm2)	Kuat Tarik Tensile Strength (kgf/mm2)
WIRE SWCH45K	47.539	3968.6	76.22	83.48 ✓
WIRE SWCH45K	47.539	3976.2	76.81	83.64 ✓

Sketsa Sample
Sample Figur

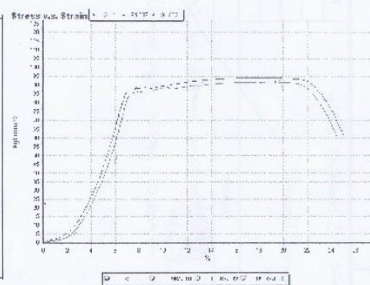
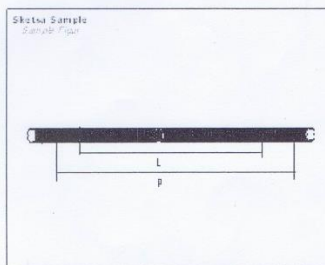


2.6 Hasil Uji *Tensile* Eksperimen 6

LAPORAN PENGUJIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

No Laporan	06	Model	SWCH45K
Angka Uji		Tempo	
Tanggal uji	04.11.2016	Pelanggan	PT.AHM
Uraian jenis		Uraian	
Nama sample	WIRE	Supplier Sample	DRMFAST
Sample Name		Supplier Address	
No Lot	TRIAL 6	Status pengujian	TRIAL
Lot Number		Address of test	

STANDARD				
HES D 3211	strengdivision	Test piece	Yield point (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
	8.8	PR COLUK	64 min	80-100 ✓
ACTUAL				
Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Batas Luluh Yield strength (kgf/mm ²)	Kuat Tarik Tensile Strength (kgf/mm ²)
WIRE SWCH45K	47.539	4469.0	87.91	94.01 ✓
WIRE SWCH45K	47.539	4357.5	86.09	91.66 ✓



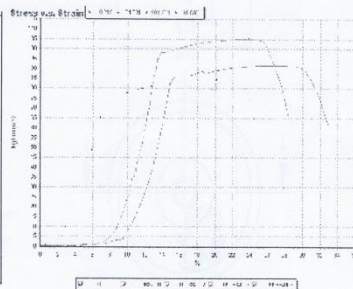
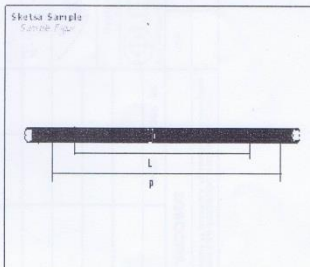
2.7 Hasil Uji Tensile Eksperimen 7

LAPORAN PENGUJIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

No Laporan	07	Model	SWCHSK
Tanggal uji	04.11.2016	Pelanggan	PT.AHM
Nama sample	WIRE	Supplier Sample	DPMFAST
No Lot	TRIAL 7	Status pengujian	TRIAL

STANDARD				
HES D 3211	strengdivision	Test piece	Yield point (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
	8.0	PRODUK	64 min	80-100 ✓

ACTUAL				
Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Batas Luluh Yield strength (kgf/mm ²)	Kuat Tarik Tensile Strength (kgf/mm ²)
WIRE SWCHSK	47.539	4011.4	76.18	84.38 ✓
WIRE SWCHSK	47.539	4359.0	85.90	91.69 ✓



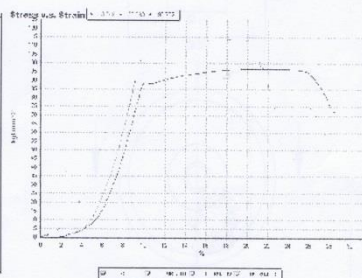
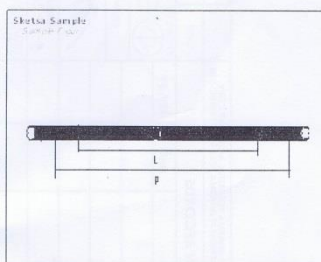
2.8 Hasil Uji *Tensile* Eksperimen 8

LAPORAN PENELITIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

No Laporan Experiment	08	Model	SWCH45K
Tanggal uji	04.11.2016	Pelanggan	PT.AHM
Nama sample	WIRE	Supplier Sample	DPMFAST
No Lot	TRIAL 8	Status pengujian	TRIAL

STANDARD				
HES D 32 11	strengdivision	Test piece	Yield point (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)
	8.8	PR ODUK	64 min	80-100 ✓

ACTUAL				
Spesifikasi Material	Area (mm ²)	Max Force (kgf)	Batas Luluh Yield strength (kgf/mm ²)	Kuat Tarik Tensile Strength (kgf/mm ²)
WIRE SWCH45K	47.539	4599.5	87.80	96.75 ✓
WIRE SWCH45K	47.539	3988.2	76.06	83.89 ✓



Tanggal : 04.11.2016

2.9 Hasil Uji *Tensile* Eksperimen 9

LAPORAN PENGUJIAN TARIK

TENSILE TEST REPORT

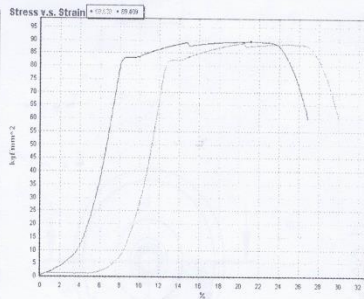
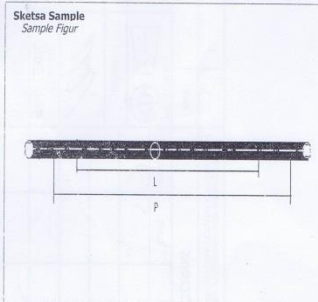
Page 1 of 1

No Laporan		Model	SWCH45K
Report No	09	Type	
Tanggal uji	04.11.2016	Pelanggan	PT.AHM
Date of test		Customer	
Nama sample	WIRE	Suplier Sample	DPM FAST
Sample Name		Sample Supplier	
No Lot	TRIAL 9	Status pengujian	TRIAL
Lot Number		properties Of testing	

STANDARD				
HES D 3211	strengdivision	Test piece	Yield point (kgf/mm2)	Tensile Strength (kgf/mm2)
	8.8	PRODUK	64 min	80-100 ✓

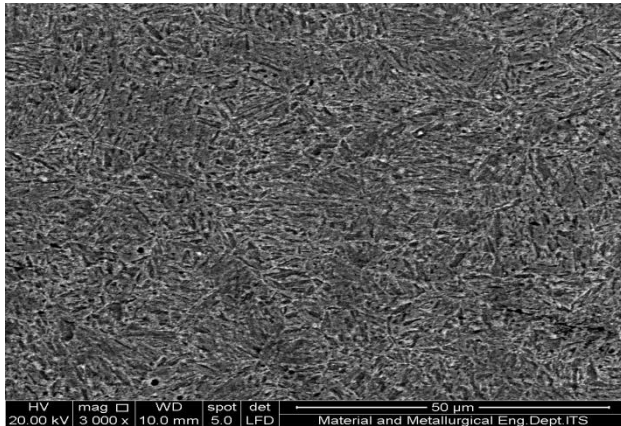
ACTUAL				
Spesifikasi Material	Area (mm2)	Max Force (kgf)	Batas Luluh Yield strength (kgf/mm2)	Kuat Tarik Tensile Strength (kgf/mm2)
WIRE SWCH45K	47.417	4239.5	83.11	89.41 ✓
WIRE SWCH45K	47.417	4212.4	82.10	88.84 ✓

Sketsa Sample
Sample Figur

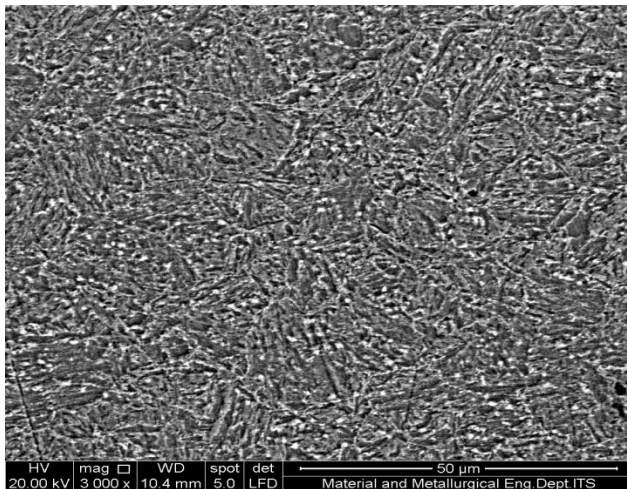


✓ 1.5 ✓ -0.0075-0.01 ✓ -0.0070-0.02

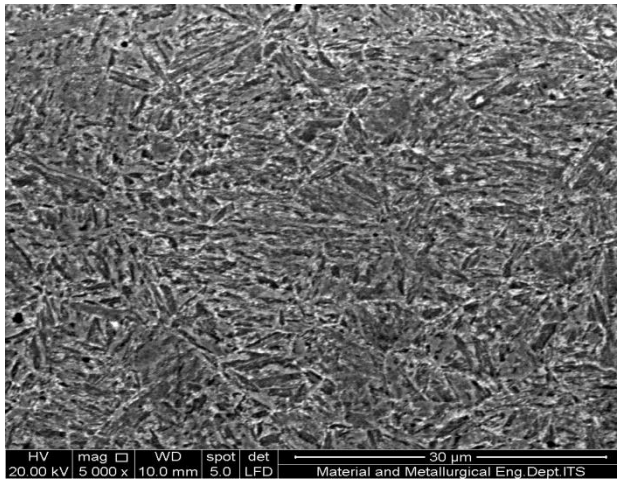
3. Hasil Uji SEM



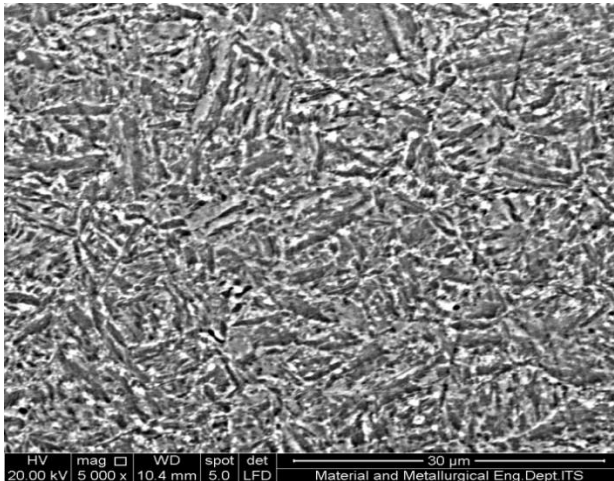
Gambar 3.1 Hasil Uji SEM Level Regular Perbesaran 3000x



Gambar 3.2 Hasil Uji SEM Level Optimal Perbesaran 3000x



Gambar 3.3 Hasil Uji SEM Level Regular Perbesaran 5000x



Gambar 3.4 Hasil Uji SEM Level Optimal Perbesaran 5000x

4. Data Kombinasi Parameter Eksperimen

Tabel 4.1 Kombinasi Parameter Eksperimen

No	Temperatur Hardening	Waktu Tahan Hardening	Temperatur Tempering
1	830	30	510
2	830	45	530
3	830	60	550
4	850	30	530
5	850	45	550
6	850	60	510
7	870	30	550
8	870	45	510
9	870	60	530
10	830	30	530
11	830	30	550
12	830	45	510
13	830	45	550
14	830	60	510
15	830	60	530
16	850	30	510
17	850	30	550
18	850	45	510
19	850	45	530
20	850	60	530
21	850	60	550
22	870	30	510
23	870	30	530
24	870	45	530
25	870	45	550
26	870	60	510
27	870	60	550

5. Data Hasil Pelatihan

Tabel 5.1 Hasil Pelatihan

Iterasi/Eks	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	30.59113	26.85049	26.01844	28.81296	26.7923	30.80551	26.71955	30.99095	28.9115	28.15393	26.0011	28.66514	26.0014
2	28.9708	27.6	26	28.8	26.7	30.8	26.4	31	28.9	28.96125	28.95732	28.85757	26.37254
3	30.59113	26.85049	26.01844	28.81296	26.7923	30.80551	26.71955	30.99095	28.9115	28.15393	26.0011	28.66514	26.0014
4	30.60361	27.3499	26.32053	28.88262	26.44018	30.75627	27.12329	30.74045	28.83769	29.05224	26.47249	30.55614	26.32941
5	30.59113	26.85049	26.01844	28.81296	26.7923	30.80551	26.71955	30.99095	28.9115	28.15393	26.0011	28.66514	26.0014
6	30.44911	27.43747	26.08597	27.06514	26.91918	30.18621	26.07949	30.27084	30.26559	26.4532	26.00083	29.12346	26.03783
7	30.51514	28.78152	26.24538	29.86036	26.35429	30.37602	26.63793	30.86304	29.97234	28.02947	26.10716	30.52084	26.23865
8	30.6	27.6	26	27.48774	26.7	30.8	26.4	29.11853	28.9	27.30381	26.77681	30.93489	26.00933
9	30.60171	27.66306	26.00116	28.80087	26.7038	30.79943	27.56485	30.99967	28.89967	29.19398	26.14658	30.04536	26.00609
10	30.59113	26.85049	26.01844	28.81296	26.7923	30.80551	26.71955	30.99095	28.9115	28.15393	26.0011	28.66514	26.0014
11	30.6	27.6	26	31	26.7	30.8	26.4	31	28.9	30.6937	28.12748	30.70663	26
12	30.99724	27.6	26	28.8	26.7	30.8	26.4	30.99997	28.9	30.77036	26.26759	30.95571	26.00051
13	30.51667	26.00011	26.00002	28.79859	26.00007	30.8002	26.39984	30.9814	28.9	26.00161	26	26.83699	26
14	30.59113	26.85049	26.01844	28.81296	26.7923	30.80551	26.71955	30.99095	28.9115	28.15393	26.0011	28.66514	26.0014
15	30.6026	27.59998	26.00011	28.80064	26.00205	30.93321	26.4067	30.99877	28.86911	28.34651	26.24635	30.4916	26.00135

Iterasi/Eks	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	30.40275	29.58477	30.97236	26.02276	30.78539	30.25218	30.75868	29.51876	30.99792	30.30159	29.03124	26.31194	30.86562	26.34448
2	26.00008	26	30.11436	27.87067	30.99984	28.55155	26	26	30.99973	27.01444	30.96911	26.33648	30.37576	26
3	30.40275	29.58477	30.97236	26.02276	30.78539	30.25218	30.75868	29.51876	30.99792	30.30159	29.03124	26.31194	30.86562	26.34448
4	30.35614	26.84374	30.52621	26.37399	30.51078	28.55231	29.26555	26.74104	30.6135	29.34053	29.53808	27.31194	30.60176	27.8332
5	30.40275	29.58477	30.97236	26.02276	30.78539	30.25218	30.75868	29.51876	30.99792	30.30159	29.03124	26.31194	30.86562	26.34448
6	26.38339	26.26229	30.81839	26.45532	30.36083	30.6558	30.18136	30.37529	29.29068	26.03417	29.53188	26.03151	30.26957	29.72217
7	28.63485	28.12941	30.57483	26.13715	30.85795	29.9131	28.3918	26.23665	30.57139	30.11409	30.73694	26.52515	30.86152	26.29952
8	30.9084	26.00059	27.70754	27.60307	29.82546	27.29922	26.18745	26.00002	26.81324	26.38958	26.90873	26.48814	29.65726	26.03826
9	28.92949	26.07959	30.99895	27.24101	30.98795	29.08118	28.52748	26.03793	30.99954	30.91745	30.04307	27.57907	30.99939	27.43788
10	30.40275	29.58477	30.97236	26.02276	30.78539	30.25218	30.75868	29.51876	30.99792	30.30159	29.03124	26.31194	30.86562	26.34448
11	30.90052	26.00006	31	30.76658	30.99214	30.99892	26.0001	26.04227	31	31	30.98654	26.30417	31	26.5788
12	26.00065	26.00001	30.99978	26.31734	30.9993	29.77362	26.008	26.00002	30.99999	29.52597	29.40853	27.25963	30.99958	27.2269
13	27.13248	26.0003	30.99962	26.00001	30.86389	29.36761	30.53306	26.0055	30.99865	28.30373	27.01176	26.07147	30.8291	26.07343
14	30.40275	29.58477	30.97236	26.02276	30.78539	30.25218	30.75868	29.51876	30.99792	30.30159	29.03124	26.31194	30.86562	26.34448
15	30.30435	27.27155	30.9589	26.32939	30.95334	27.82037	27.22556	26.00009	30.99893	30.28716	29.55096	26.00318	30.99799	26.00008

Iterasi/Eks	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	30.51514	28.78152	26.24538	29.86036	26.35429	30.37602	26.63793	30.86304	29.97234	28.02947	26.10716	30.52084	26.23865
17	30.6	27.6	26	27.48774	26.7	30.8	26.4	29.11853	28.9	27.30381	26.77681	30.93489	26.00933
18	30.6	27.6	26	28.8	26.7	30.1539	28.61254	31	28.9	26.9881	26.91023	30.99969	26.12301
19	30.43943	26.75546	26.0134	28.48874	26.65019	30.80355	27.41098	30.88071	28.98765	27.89714	26.88313	30.55023	26.05069
20	30.60941	26.00045	26.00009	28.78028	26	30.67068	26.40182	30.99517	29.02659	26.00083	26	27.58773	26
21	30.59113	26.85049	26.01844	28.81296	26.7923	30.80551	26.71955	30.99095	28.9115	28.15393	26.0011	28.66514	26.0014
22	30.60361	27.3499	26.32053	28.88262	26.44018	30.75627	27.12329	30.74045	28.83769	29.05224	26.47249	30.55614	26.32941
23	30.62942	27.85268	26.28982	28.3952	26.66395	30.27225	26.77429	30.83931	30.3385	27.08703	26.64327	30.47052	26.61092
24	28.9708	27.6	26	28.8	26.7	30.8	26.4	31	28.9	28.96125	28.95732	28.85757	26.37254
25	30.59947	27.51827	26.00001	28.799	26.70343	30.79992	26.39986	30.53603	28.90489	29.09779	26.1586	27.63353	26.01297
26	30.6	27.6	26.00012	28.8	26.53428	30.8	26.4	30.99983	28.9	28.12111	28.24912	30.99831	27.08657
27	30.6	27.6	26	31	26.7	30.8	26.4	31	28.9	30.6937	28.12748	30.70663	26
28	30.99724	27.6	26	28.8	26.7	30.8	26.4	30.99997	28.9	30.77036	26.26759	30.95571	26.00051
29	30.59947	27.51827	26.00001	28.799	26.70343	30.79992	26.39986	30.53603	28.90489	29.09779	26.1586	27.63353	26.01297
30	30.6	27.6	26.00012	28.8	26.53428	30.8	26.4	30.99983	28.9	28.12111	28.24912	30.99831	27.08657
31	29.91429	27.15724	26.74856	29.19786	26.7259	28.68161	26.42321	30.75194	28.90316	28.63	26.17379	29.54279	26.55199
32	30.40134	26.84407	26.33485	28.86432	26.32808	30.42592	26.43019	30.81014	29.27975	28.53403	26.34534	30.49862	26.3127
33	30.59914	27.61389	26.00007	28.80128	26.00015	30.78206	26.3975	30.99978	28.90652	26.53045	26	30.59503	26.00002
34	30.6	27.59856	26.0004	28.8	26.7	30.77303	26.4	30.99953	28.9	29.37419	26.0057	30.9589	26.00028
35	30.96879	27.32275	26.192	28.79796	26.71975	30.69709	26.45013	30.99109	28.74405	27.30095	26.04502	30.67306	26.10823

Iterasi/Eks	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
16	28.63485	28.12941	30.57483	26.13715	30.85795	29.9131	28.3918	26.23665	30.57139	30.11409	30.73694	26.52515	30.86152	26.29952
17	30.9084	26.00059	27.70754	27.60307	29.82546	27.29922	26.18745	26.00002	26.81324	26.38958	26.90873	26.48814	29.65726	26.03826
18	26.12848	26.00001	30.99986	27.01515	31	30.99826	26.66064	26	31	30.99972	31	30.99335	30.66654	26.32169
19	30.23585	26.04178	30.74712	27.21591	30.85778	27.99174	27.36376	26.04206	30.8791	30.05749	29.45108	28.12333	30.85232	27.26326
20	27.49498	26.00043	30.9989	26.00005	30.86912	27.06877	26.84899	26.00008	30.99934	29.84444	30.54724	26.00452	30.75363	26.00909
21	30.40275	29.58477	30.97236	26.02276	30.78539	30.25218	30.75868	29.51876	30.99792	30.30159	29.03124	26.31194	30.86562	26.34448
22	30.35614	26.84374	30.52621	26.37399	30.51078	28.55231	29.26555	26.74104	30.6135	29.34053	29.53808	27.31194	30.60176	27.8332
23	29.95485	28.3249	30.84972	26.65674	30.74785	29.61141	29.69038	26.38218	30.90367	30.24137	30.5374	26.82408	30.54705	26.73363
24	26.00008	26	30.11436	27.87067	30.99984	28.55155	26	26	30.99973	27.01444	30.96911	26.33648	30.37576	26
25	27.30955	26.02598	29.73136	26.03188	27.20683	30.29615	26.753	26.00181	30.95787	29.49709	30.01482	28.17596	28.26369	26.42182
26	27.27183	26.47774	30.99241	27.80441	30.99984	30.62136	30.38649	26.00064	30.99947	28.22177	30.8769	26.33175	30.55892	26.00215
27	30.90052	26.00006	31	30.76658	30.99214	30.99892	26.0001	26.04227	31	31	30.98654	26.30417	31	26.5788
28	26.00065	26.00001	30.99978	26.31734	30.9993	29.77362	26.008	26.00002	30.99999	29.52597	29.40853	27.25963	30.99958	27.2269
29	27.30955	26.02598	29.73136	26.03188	27.20683	30.29615	26.753	26.00181	30.95787	29.49709	30.01482	28.17596	28.26369	26.42182
30	27.27183	26.47774	30.99241	27.80441	30.99984	30.62136	30.38649	26.00064	30.99947	28.22177	30.8769	26.33175	30.55892	26.00215
31	26.97614	26.78295	30.72916	26.10414	30.664	28.42078	27.35582	26.86514	30.39634	28.25524	29.53704	27.27461	29.27711	28.5739
32	30.20088	26.52207	30.82574	26.33436	30.7872	27.54102	27.87028	26.43548	30.86211	30.18196	29.18616	26.57294	30.34181	27.42711
33	30.49145	26.30323	30.99897	26.00001	30.97056	27.62755	26.55568	26.00161	30.99994	30.87576	30.90807	26.19534	30.97093	26
34	27.51804	26.01499	30.73091	26.02446	30.99889	30.80047	26.0317	26.00153	30.94752	29.28977	30.89913	30.75928	30.99857	27.11388
35	30.6112	28.92816	30.98666	26.18785	30.93961	28.52723	28.07441	26.24848	30.98676	29.13763	29.85391	28.00751	30.95413	26.8763

Iterasi/Eks	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36	30.99632	27.6	26	28.8	26.7	30.8	26.4	30.98241	28.9	30.5678	30.51235	30.99958	26.22058
37	30.56916	27.3864	26.29488	28.63649	26.30841	30.41772	26.51466	30.42715	29.06877	29.32809	26.70819	30.91004	26.30656
38	30.71277	27.64575	26	28.75277	26.08871	30.99994	26.39648	31	30.50424	28.745	26.48975	30.99999	26.00172
39	29.97278	27.6	26.0022	28.8	26.7	30.8	26.4	30.9997	28.9	26.27868	26.00773	30.67905	26.00127
40	30.50762	27.60211	26.00097	30.59884	26.74496	31	26.50009	31	31	26.00006	26.00001	30.91764	26.00071
41	30.29588	28.20698	26.10321	28.90923	26.18747	30.98488	26.57563	30.8434	29.68639	28.95095	27.32635	30.73338	26.50528
42	30.1538	26.9749	26.38111	28.04656	26.84145	30.37494	26.44317	30.43895	29.27915	26.76475	26.84195	29.73239	27.02407
43	30.59924	27.59973	26.21901	28.79977	26.36487	30.99996	26.54223	30.99994	28.90152	26.0004	26	31	26
44	28.75715	27.60539	26.01073	28.79674	26.67104	30.79912	26.38628	30.98546	28.89879	28.51481	28.48399	29.36168	26.41362
45	28.75136	27.97503	26.58826	27.94402	26.78466	30.11105	26.36585	30.83762	28.01504	27.56911	26.05275	30.83348	26.57845
46	30.60141	27.75074	26.16384	28.80174	26.08556	30.88	26.47287	30.96849	28.97072	29.09219	26.79265	30.48947	26.10168
47	30.5987	27.60195	26.55108	26.60105	26.70079	30.79996	26.40011	30.99999	28.90013	27.33865	26.56679	30.99867	26.88458
48	30.5988	27.79568	26.19891	28.91308	26.42936	30.84877	26.54675	30.82557	28.89493	28.43394	28.56642	30.73563	27.72947
49	30.44161	27.6092	26.0412	29.4411	26.57852	30.78965	26.67509	30.90671	28.65167	30.31905	28.95797	30.55814	26.09037
50	30.55383	27.5739	26.18027	28.77536	26.7036	30.7855	26.40223	30.9885	30.98953	26.229	26.15201	30.57973	26.2896
Rata-rata	30.4312	27.4475	26.1129	28.8149	26.5684	30.6814	26.5882	30.8237	29.1276	28.2291	26.782	30.0444	26.2412

Iterasi/Eks	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
36	26.0758	26.00162	30.78515	28.4598	30.99685	26.2562	26.06925	26	26.11281	26.12133	26.01539	26.01173	30.99054	26.00024
37	30.76998	27.63049	30.76433	26.44619	30.91873	26.80573	28.07611	26.30528	30.71348	26.73508	26.87665	26.47441	30.12427	26.40918
38	30.98963	26.00065	30.98463	26.44156	31	29.65412	26.04778	26	30.99984	29.24141	30.93181	26.29222	31	26
39	30.64173	27.47422	30.99869	26.41564	30.99912	30.88022	26.17101	26.00734	30.99939	29.82356	30.71269	27.26994	30.99781	27.66833
40	30.99996	30.99797	30.99968	26.18707	31	30.99996	31	29.51598	31	31	31	29.26216	31	30.99925
41	30.99616	30.20902	30.2391	26.47331	30.9323	26.97634	29.53546	26.11318	29.03836	27.1496	26.88745	26.20467	30.94788	26.14117
42	28.42238	26.47807	30.44188	26.63663	30.43135	27.30036	27.00672	26.63603	30.43836	30.22761	29.93526	26.38346	30.44352	26.43801
43	31	29.75466	31	26.00001	31	29.63793	28.8964	27.67701	31	29.50265	28.74178	27.71718	30.99881	27.8488
44	30.19212	26.08345	30.94724	27.34911	30.99927	30.98357	30.75996	30.35201	30.85697	30.00638	30.66334	26.93757	30.31508	26.42357
45	30.44825	26.70928	29.2026	26.08226	30.83766	27.56757	26.75438	27.0752	30.034	28.61234	28.55974	28.28191	30.47364	28.21884
46	28.73946	27.21221	30.57602	27.6815	30.72209	29.09516	29.52434	26.08065	30.56148	28.42789	30.06756	26.01375	30.97318	26.01388
47	26.06701	26.01213	30.73772	26.41537	30.99995	27.34443	27.20936	26.62155	30.77683	26.42278	26.96207	26.6903	30.99993	26.75978
48	30.77993	27.32218	30.89618	28.41934	30.9158	29.12525	27.13724	26.10901	30.87013	30.44305	29.19187	26.14699	29.75765	26.16056
49	30.74606	27.75615	29.91673	28.74519	30.89189	28.77813	30.09073	26.05251	27.9742	27.31681	27.42841	26.07146	30.481	26.09898
50	30.43888	29.73706	30.9701	26.16077	30.9739	30.95791	30.96781	30.36332	30.98038	30.93087	30.98863	30.36775	30.97972	30.98073
Rata-rata	29.137	27.2475	30.6046	26.8285	30.6823	29.228	28.2141	26.9292	30.4903	29.2081	29.5217	26.9981	30.5754	26.8516

6. Data Error Hasil Pelatihan

Tabel 6.1 Data Error Hasil Pelatihan

Iterasi/Eks	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.00177494	0.14990283	-0.003688	-0.002591	-0.0184608	-0.00110224	-0.06391018	0.00181	-0.0023004
2	0.32584035	2.77E-09	-3.90E-09	1.82E-10	-3.64E-10	-1.40E-09	-7.21E-12	9.88E-10	3.55E-09
3	0.00177494	0.14990283	-0.003688	-0.002591	-0.0184608	-0.00110224	-0.06391018	0.00181	-0.0023004
4	-0.00072283	0.05001946	-0.0641053	-0.016523	0.05196391	0.00874579	-0.14465895	0.051909	0.01246128
5	0.00177494	0.14990283	-0.003688	-0.002591	-0.0184608	-0.00110224	-0.06391018	0.00181	-0.0023004
6	0.0301778	0.03250612	-0.0171935	0.346973	-0.0438357	0.12275762	0.064102601	0.145832	-0.2731176
7	0.01697134	-0.2363048	-0.0490757	-0.212072	0.06914106	0.08479548	-0.04758597	0.027391	-0.2144688
8	6.42E-08	4.81E-09	-2.61E-07	0.262452	-6.82E-08	3.57E-08	-9.20E-10	0.376293	2.93E-07
9	-0.00034228	-0.0126129	-0.000232	-0.000174	-0.0007609	0.00011353	-0.23297065	6.66E-05	6.67E-05
10	0.00177494	0.14990283	-0.003688	-0.002591	-0.0184608	-0.00110224	-0.06391018	0.00181	-0.0023004
11	-3.02E-09	-1.72E-07	-3.51E-09	-0.44	-2.44E-08	-1.13E-08	-3.81E-09	1.01E-09	3.67E-08
12	-0.07944738	-7.57E-09	-4.05E-09	4.00E-09	-5.43E-10	1.39E-09	1.04E-10	5.75E-06	-5.06E-09
13	0.01666641	0.31997834	-3.51E-06	0.000282	0.13998664	-3.99E-05	3.26E-05	0.003721	-3.35E-07
14	0.00177494	0.14990283	-0.003688	-0.002591	-0.0184608	-0.00110224	-0.06391018	0.00181	-0.0023004
15	-0.00051903	4.91E-06	-2.25E-05	-0.000128	0.13959007	-0.02664161	-0.00133999	0.000245	0.00617852
16	0.01697134	-0.2363048	-0.0490757	-0.212072	0.06914106	0.08479548	-0.04758597	0.027391	-0.2144688
17	6.42E-08	4.81E-09	-2.61E-07	0.262452	-6.82E-08	3.57E-08	-9.20E-10	0.376293	2.93E-07
18	1.22E-07	2.04E-08	-2.74E-09	1.01E-07	-1.34E-07	0.1292195	-0.44250832	2.46E-09	1.94E-07
19	0.03211382	0.168909	-0.0026801	0.062253	0.00996122	-0.00071083	-0.20219624	0.023857	-0.0175301
20	-0.00188299	0.31991061	-1.77E-05	0.003945	0.13999972	0.02586311	-0.0003641	0.000967	-0.025318
21	0.00177494	0.14990283	-0.003688	-0.002591	-0.0184608	-0.00110224	-0.06391018	0.00181	-0.0023004
22	-0.00072283	0.05001946	-0.0641053	-0.016523	0.05196391	0.00874579	-0.14465895	0.051909	0.01246128
23	-0.00588436	-0.0505366	-0.0579642	0.080961	0.00721014	0.10554933	-0.07485784	0.032139	-0.2877004
24	0.32584035	2.77E-09	-3.90E-09	1.82E-10	-3.64E-10	-1.40E-09	-7.21E-12	9.88E-10	3.55E-09
25	0.00010624	0.01634535	-1.97E-06	0.000199	-0.0006867	1.54E-05	2.82E-05	0.092795	-0.0009787

Iterasi/Eks	1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	1.79E-07	1.59E-07	-2.40E-05	7.18E-09	0.0331432	1.25E-08	1.90E-09	3.34E-05	6.55E-08
27	-3.02E-09	-1.72E-07	-3.51E-09	-0.44	-2.44E-08	-1.13E-08	-3.81E-09	1.01E-09	3.67E-08
28	-0.0794474	-7.57E-09	-4.05E-09	4.00E-09	-5.43E-10	1.39E-09	1.04E-10	5.75E-06	-5.06E-09
29	0.0001062	0.0163454	-1.97E-06	0.000199	-0.000687	1.54E-05	2.82E-05	0.09279	-0.000979
30	1.79E-07	1.59E-07	-2.40E-05	7.18E-09	0.0331432	1.25E-08	1.90E-09	3.34E-05	6.55E-08
31	0.1371422	0.0885519	-0.149712	-0.079572	-0.00518	0.423678	-0.004642	0.04961	-0.000633
32	0.0397328	0.1511856	-0.06697	-0.012863	0.0743839	0.0748153	-0.0060385	0.03797	-0.07595
33	0.0001717	-0.002777	-1.46E-05	-0.000256	0.1399692	0.0035886	0.00050041	4.33E-05	-0.001305
34	-9.57E-08	0.0002882	-7.91E-05	-5.17E-07	-3.07E-07	0.0053945	-4.72E-07	9.40E-05	2.81E-07
35	-0.0737572	0.0554508	-0.038399	0.000407	-0.00395	0.0205814	-0.0100252	0.00178	0.0311906
36	-0.0792639	-1.06E-07	-7.43E-09	4.61E-08	-7.86E-08	3.80E-09	3.23E-08	0.00352	-7.81E-08
37	0.0061681	0.0427199	-0.058976	0.032703	0.0783172	0.0764555	-0.0229327	0.11457	-0.033754
38	-0.0225535	-0.009151	-2.06E-08	0.009447	0.1222583	-0.0399872	0.00070441	2.76E-08	-0.320849
39	0.1254436	1.62E-07	-0.00044	9.51E-08	-9.73E-09	-5.43E-08	-6.45E-09	6.00E-05	1.23E-07
40	0.018477	-0.000422	-0.000193	-0.359768	-0.008992	-0.04	-0.0200176	4.67E-10	-0.42
41	0.060825	-0.121396	-0.020642	-0.021846	0.102507	-0.0369756	-0.0351259	0.03132	-0.157279
42	0.0892392	0.12502	-0.076222	0.150688	-0.02829	0.085013	-0.0086347	0.11221	-0.07583
43	0.0001513	5.47E-05	-0.043803	4.55E-05	0.0670269	-0.0399911	-0.0284459	1.23E-05	-0.000304
44	0.3685704	-0.001077	-0.002146	0.000653	0.0057921	0.0001756	0.0027445	0.00291	0.0002418
45	0.3697284	-0.075007	-0.117653	0.171196	-0.016933	0.1377908	0.00683062	0.03248	0.1769913
46	-0.0002817	-0.030148	-0.032768	-0.000349	0.1228874	-0.0159992	-0.0145745	0.0063	-0.014144
47	0.0002603	-0.00039	-0.110216	0.43979	-0.000158	8.64E-06	-2.12E-05	2.45E-06	-2.67E-05
48	0.0002408	-0.039136	-0.039783	-0.022615	0.054127	-0.0097543	-0.0293505	0.03489	0.0010132
49	0.0316783	-0.00184	-0.008241	-0.128219	0.024295	0.0020691	-0.0550181	0.01866	0.0496666
50	0.0092332	0.0052205	-0.036054	0.004928	-0.00072	0.0029007	-0.0004467	0.0023	-0.417905
Rata -rata	0,033754	0,030497	0,022579	0,00298	0,026317	0,000899	0,03218	0,002056	-0,2101

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Jakarta pada tanggal 6 Maret 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Ismed Redezon dan Irmanili. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Harapan Jaya VIII, SMPN 5 Bekasi, dan SMAN 4 Bekasi. Setelah lulus dari jenjang SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh nopember Surabaya.

Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, pelatihan, dan seminar. Penulis pernah menjabat sebagai anggota Senat Mahasiswa Material dan Metalurgi HMMT FTI ITS dan sekretaris Badan Semi Otonom Material Techno Club HMMT FTI ITS 2015/2016. Selain itu penulis sempat aktif sebagai Asisten Laboratorium Fisika Material.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk pada bulan Juli-Agustus 2016. Selama kerja praktek penulis mendalami topik terkait “Analisa Kegagalan WPS Kontraktor di PT. Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk”.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam bidang Perlakuan Panas berjudul “Analisa Optimasi Proses *Heat Treatment* Produk *Fastener* dengan Metode Taguchi”.

Email: nandalysvn@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)